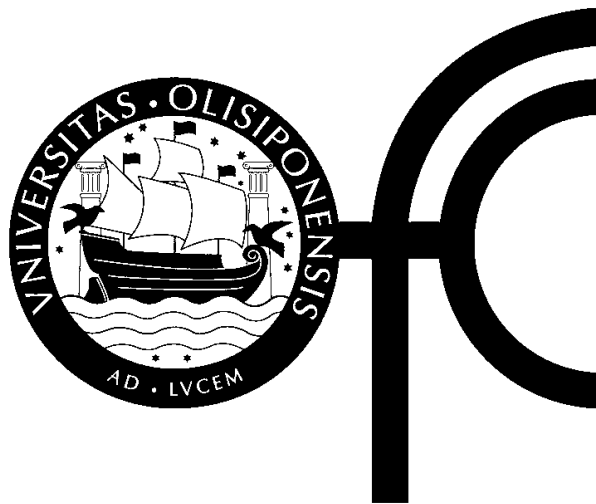


Universidade de Lisboa

Faculdade de Ciências

Departamento de Biologia Animal



Dieta e locais de alimentação das cagarras (*Calonectris diomedea borealis*) das ilhas Selvagem Grande e Berlenga

Ana Sofia de Sousa Santos Dias

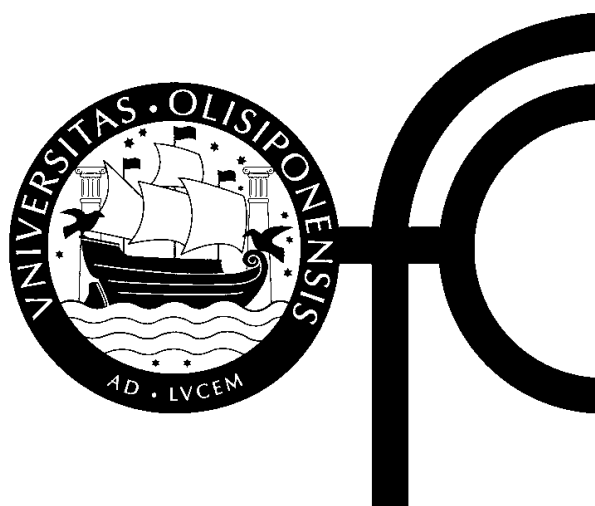
Mestrado em Biologia da Conservação

2011

Universidade de Lisboa

Faculdade de Ciências

Departamento de Biologia Animal



Dieta e locais de alimentação das cagarras
(*Calonectris diomedea borealis*) das ilhas
Selvagem Grande e Berlenga

Dissertação orientada por
Doutor Paulo Catry
Prof. Doutor Rui Rebelo

Ana Sofia de Sousa Santos Dias

Mestrado em Biologia da Conservação

2011

Resumo

Está comprovado que certas aves marinhas adaptam a sua estratégia de aprovisionamento e a das suas crias conforme a proximidade e disponibilidade de alimento na zona em torno da colónia de reprodução. Assim sendo, a dieta de diferentes populações da mesma espécie e de diferentes classes etárias pode diferir devido a estes factores. Neste trabalho procedeu-se ao estudo da dieta das populações de cagaras *Calonectris diomedea borealis* da ilha da Berlenga e da Selvagem Grande. A dieta foi avaliada durante o período reprodutor, com base na análise de conteúdos estomacais e nas assinaturas isotópicas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$. O primeiro método demonstrou ausência de consumo de cefalópodes e de presas pelágicas na Berlenga e predomínio destas na Selvagem Grande, assim como uma dieta mais rica em peixe nas crias da Berlenga. As assinaturas isotópicas evidenciaram diferenças significativas entre as colónias e também entre adultos e crias o que indica uma composição da dieta diferente entre estes grupos etários, sendo estas diferenças maiores na Selvagem Grande. Em geral, não ficou comprovada a existência de segregação trófica entre os sexos. Foi ainda estabelecido um índice de condição corporal que demonstrou ser mais elevado nas crias da Berlenga comparativamente às da Selvagem Grande. Este trabalho confirma que a proximidade a áreas produtivas influencia a estratégia de alimentação e a dieta destas aves marinhas.

Palavras-chave: Segregação alimentar, aprovisionamento das crias, conteúdos estomacais, isótopos estáveis.

Abstract

It is known that certain seabirds adapt both their provisioning strategy and of their offspring according to the proximity and availability of food around the breeding colony. Therefore, the diet of different populations of the same species and of different age-groups may differ due to these factors. This work proceeded to study the diet of the populations of Cory's shearwaters *Calonectris diomedea borealis* of Berlenga and of Selvagem Grande. Diet was assessed during the reproductive period, based on the analysis of stomach contents and of the isotopic signatures of $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$. The first method showed no consumption of cephalopods or of pelagic prey at Berlenga and a prevalence of these prey-types at Selvagem Grande, as well as a predominance of fish in the diet of individuals at Berlenga. The isotopic signatures were significantly different between the colonies and between adults and chicks which indicates a different diet composition among these age groups, with these differences being larger at Selvagem Grande. The existence of trophic segregation by sex was not proven. An index of body condition suggested that chicks at Berlenga were better fed than at Selvagem Grande. This work confirms that the proximity of the breeding colony to productive marine areas influences the feeding strategy and diet of these seabirds.

Keywords: Diet segregation, chick provisioning, stomach contents, stable isotopes.

Índice

Resumo e palavras-chave	pág. 1
Abstract e keywords	pág. 2
Introdução	
Contexto global	pág. 4
A cagarra <i>Calonectris diomedea borealis</i>	pág. 7
Análise da dieta	pág. 10
Objectivos	pág. 13
Materiais e métodos	
Área de estudo	pág. 13
Amostragem	pág. 14
Análise convencional da dieta	pág. 15
Análise isotópica da dieta	pág. 15
Análise biométrica	pág. 16
Análise estatística	pág. 17
Resultados	pág. 18
Discussão	pág. 26
Considerações finais	pág. 30
Bibliografia	pág. 32

Introdução

Contexto global

O ambiente marinho caracteriza-se pela imprevisibilidade dos seus recursos. A disponibilidade e abundância dos diferentes tipos de presas varia consideravelmente no tempo e no espaço, influenciados por uma grande variedade de factores bióticos e abióticos (Baduini e Hyrenbach, 2003; Congdon *et al.* 2005). Durante a época reprodutora, as aves marinhas enfrentam um desafio acrescido, pois para além de assegurarem a sua própria alimentação e sobrevivência têm ainda de alimentar as suas crias. Para poderem satisfazer tão grandes necessidades de alimento, a busca por recursos é mais intensa do que nas restantes épocas do ano (Paiva *et al.* 2010a) e, portanto, a proximidade da colónia de reprodução a zonas produtivas influencia em muito a estratégia de aprovisionamento dos adultos (Navarro e González-Solis, 2009; Paiva *et al.* 2010a). No entanto, estas zonas ricas em alimento podem estar situadas a centenas de quilómetros da colónia (Navarro e González-Solis, 2007).

Quando a produtividade marinha local é escassa e os recursos insuficientes para alimentar crias e adultos, vários procelariformes adoptam, durante a reprodução, uma estratégia de alimentação denominada bimodal (Chaurand e Weimerskirch, 1994; Weimerskirch *et al.* 1997a e b; Granadeiro *et al.* 1998a; Weimerskirch, 1998; Catard *et al.* 2000; Congdon *et al.* 2005; Magalhães *et al.* 2008). Esta consiste em alternar viagens curtas (1 a 4 dias) com viagens longas (≥ 5 dias) (Chaurand e Weimerskirch, 1994; Weimerskirch *et al.* 1997a; Magalhães *et al.* 2008). As viagens do primeiro tipo destinam-se a adquirir alimento para as crias nas águas adjacentes à colónia de reprodução, enquanto que as do segundo tipo são importantes para os progenitores e têm lugar em áreas distantes, mas altamente produtivas, servindo para satisfazer as suas necessidades energéticas e repôr as suas reservas corporais (Congdon *et al.* 2005; Magalhães *et al.* 2008). A decisão de efectuar um destes dois tipos de viagem depende principalmente, da condição corporal dos progenitores (Chaurand e Weimerskirch, 1994; Weimerskirch *et al.* 1997a e b; Weimerskirch, 1998; Catard *et al.* 2000) e, possivelmente, também das necessidades energéticas das suas crias (Ricklefs *et al.* 1985; Weimerskirch *et al.* 1997b; Granadeiro *et al.* 2000). Este tipo de estratégia pode deste modo levar à diferenciação da dieta de adultos e crias. São vários os estudos que

documentam diferenciação da dieta entre estes dois grupos populacionais (Spaans, 1971; Nogales *et al.* 1995; Davoren e Burger, 1999; Catard *et al.* 2000; Cherel, 2008; Jaquemet *et al.* 2008; Danhardt *et al.* 2010; Bond *et al.* 2010). No entanto, em anos ou em regiões onde estão disponíveis suficientes recursos marinhos em redor da colónia, espera-se que as aves usufruam dos recursos locais tanto para a sua nutrição como para a das suas crias, estratégia designada unimodal (Granadeiro *et al.* 1998a; Baduini e Hyrenbach, 2003; Peck e Congdon, 2005). Em aves que utilizem esta última estratégia prevê-se que a dieta seja semelhante entre estas classes etárias. Diferentes estratégias de alimentação já foram documentadas em colónias separadas por menos de 100km (Forero *et al.* 2002).

Contudo, outros factores podem estar na base das diferenças alimentares de crias e progenitores. Por exemplo, em algumas espécies, os adultos optam por fornecer às crias presas de maior tamanho (Davoren e Burger, 1999; Danhardt *et al.* 2010) e/ou de maior qualidade (ex. maior conteúdo proteico ou lipídico) do que aquelas que eles próprios consomem (Spaans, 1971; Nogales *et al.* 1995; Pedrocchi *et al.* 1996; Davoren e Burger, 1999; Hodum e Hobson, 2000; Forero *et al.* 2002; Mcleay *et al.* 2009; Danhardt *et al.* 2010). Tal pode ser explicado com base no facto de indivíduos em crescimento necessitarem de presas mais nutritivas (Hodum e Hobson, 2000; Forero *et al.* 2002). De facto, Golet *et al.* (2000), assim como Monaghan *et al.* (1989) constataram que crias cujos progenitores lhes forneciam presas de maior tamanho e com maior conteúdo lipídico possuíam uma maior taxa de sobrevivência e uma taxa de crescimento mais rápida. Por outro lado, em espécies como *Cerorhinca monocerata* (Davoren e Burger, 1999) e *Fratercula cirrhata* (Baird, 1991) que transportam os itens alimentares intactos no bico e nas quais, portanto, a quantidade de alimento transportada é limitada, torna-se mais eficiente e implica menos custos energéticos para os progenitores trazer itens mais nutritivos e/ou maiores para compensar os custos energéticos das viagens. Estes optam assim por ingerir e consumir presas pequenas ou pouco energéticas para não despenderem tempo e energia no transporte de presas pouco rentáveis (Carlson e Moreno, 1985). Assim, quanto mais longe da colónia vão buscar o alimento, mais valioso deve ser esse alimento, de forma a compensar os custos energéticos dispendidos no transporte (Mcleay *et al.* 2009).

Fornecer presas maiores também pode ser vantajoso, pois assim os episódios de alimentação podem tornar-se menos frequentes, diminuindo deste modo o número de viagens para capturar alimento (Schaffner, 1990; Golet *et al.* 2000; Pinaud *et al.* 2005).

Ainda em espécies cujo risco de predação das crias é elevado, uma menor frequência de alimentação diminui o risco de exposição do ninho aos predadores (Golet *et al.* 2000). Nalgumas espécies o transporte de presas maiores pode também estar relacionado com a morfologia do bico, por presas maiores serem mais fáceis de transportar (Davoren e Burger, 1999). Contudo, a alimentação das crias também é regulada pelo que estas podem fisicamente ingerir (Mcleay *et al.* 2009), supondo-se que os progenitores vão ajustando o tamanho das presas fornecidas às crias à medida que estas vão crescendo (Ramos *et al.* 1998; Paiva *et al.* 2006).

Não só classes etárias, mas também sexos ou mesmo diferentes indivíduos de uma população podem explorar recursos distintos (ex. Hobson, 1993; Forero *et al.* 2002; Matthews e Mazumber, 2004; Pedrocchi *et al.* 1996; Bearhop *et al.* 2006). Diferenças morfológicas (Shaffer *et al.* 2001; Forero *et al.* 2002) ou comportamentais (Weimerskirch *et al.* 1997a; Bearhop *et al.* 2006; Paiva *et al.* 2010a) podem determinar a quantidade e qualidade dos recursos explorados pelos indivíduos (Forero *et al.* 2002). Por exemplo, são muitos os trabalhos que já verificaram diferenças entre a dieta de machos e de fêmeas (Kato *et al.* 1996, Clarke *et al.* 1998, González-Solís *et al.* 2000; Bearhop *et al.* 2006). Um dimorfismo sexual ao nível do tamanho corporal está muitas vezes associado a esta segregação (Lewis *et al.* 2005; Forero *et al.* 2002, Bearhop *et al.* 2006). Uma maior massa corporal confere, geralmente, uma maior reserva de oxigénio para um gasto de energia proporcionalmente menor, permitindo, por exemplo, mergulhos mais profundos (Cook *et al.* 2007). Em várias espécies encontra-se documentado que os machos, maiores, têm tendência a mergulhar a maiores profundidades do que as fêmeas (ex. Kato *et al.* 1996, 1999 e 2000; Bearhop *et al.* 2006; Cook *et al.* 2007; Paredes *et al.* 2008) e a alimentar-se de presas de níveis tróficos superiores (Forero *et al.* 2002, Bearhop *et al.* 2006). Por outro lado, indivíduos maiores também têm maior capacidade de transportar comida, trazendo assim, uma maior quantidade de alimento para as crias, como acontece nos machos da espécie *Diomedea exulans* (Weimerskirch e Lys, 2000). Também nesta espécie, Weimerskirch *et al.* (1997a) constataram que os machos efectuam um maior número de viagens curtas e que fornecem alimento mais frequentemente do que as fêmeas (Wojczulanis *et al.* 2006). Portanto, é possível que os machos, por visitarem mais vezes o ninho, não se afastem tanto da colónia como as fêmeas.

As diferenças entre machos e fêmeas ao nível da morfologia do bico podem também influenciar a dieta. Um bico mais forte pode aumentar a capacidade de

manipulação das presas e proporcionar uma maior força mandibular, aspectos que poderiam facilitar o acesso a outro tipo de presas ou a uma maior quantidade de alimento (Forero *et al.* 2002). Esta segregação entre sexos pode ainda resultar de diferenças na morfologia das asas. Na espécie *Diomedea exulans*, os machos possuem, em geral, asas mais compridas e mais pesadas do que as fêmeas. Estas características afectam a performance de voo, que por sua vez influencia a sua distribuição no mar, levando à exploração de diferentes áreas e consequentemente à segregação trófica (Shaffer *et al.* 2001). No entanto, mesmo espécies monomórficas podem exibir diferenças sexuais significativas no seu comportamento de aprovisionamento, tal como acontece com *Morus bassanus* (Lewis *et al.* 2002). Finalmente, a alimentação a diferentes alturas do dia também pode conduzir à diferenciação da dieta entre os sexos (Kato *et al.* 1999; Kato *et al.* 2000; Cook *et al.* 2007; Paredes *et al.* 2008).

A cagarra *Calonectris diomedea borealis*

A cagarra *Calonectris diomedea borealis* é uma das aves mais abundantes no Atlântico Norte (Mougin e Jouanin, 1997; Granadeiro *et al.* 1998a; Magalhães *et al.* 2008). Esta subespécie reproduz-se em grande número nos arquipélagos dos Açores, Madeira, Selvagens, Canárias e também na ilha da Berlenga (Cramp e Simmons, 1997 em Granadeiro *et al.* 1999). A sua longevidade é de cerca de 30 anos (Navarro *et al.* 2009). Como todos os procelariformes produz apenas um ovo por postura e nidifica em colónias (Hamer e Read, 1987). Os indivíduos chegam à colónia de reprodução entre Fevereiro e Abril e aí permanecem até Outubro (Giudici *et al.* 2010). Na Selvagem Grande (a partir daqui designada apenas por Selvagem) e na Berlenga a cria nasce normalmente na segunda quinzena de Julho (Granadeiro, 1991; Granadeiro *et al.* 2000), após um período de incubação de cerca de 54 dias (Mougin e Jouanin, 1997; Navarro *et al.* 2009). Já o período de criação estende-se por cerca de 90 dias (Navarro *et al.* 2009) e em ambos os períodos o ovo/cria são incubados/protegidos pelos dois progenitores, alternadamente (Mougin e Jouanin, 1997). A localização do ninho em cavidades no solo, debaixo de rochas (Granadeiro, 1991; Navarro *et al.* 2007), nas fendas das falésias (Hamer e Read, 1987) ou no chão de pequenas grutas (Granadeiro, 1991) constitui outra

característica desta ave. Actualmente, esta subespécie encontra-se classificada como vulnerável a nível europeu (ICNB, 2007).



Figura 1. Foto de adulto e cria de *C. diomedea borealis* na ilha Selvagem.

Ao nível morfológico existem diferenças significativas entre as cagaras da Berlenga e da Selvagem, nomeadamente no tamanho dos adultos e no tamanho dos ovos, sendo quer uns quer outros maiores nos indivíduos da população da Selvagem. Este facto sugere algum nível de isolamento reprodutor entre as colónias (Granadeiro, 1991), o que pode ser explicado com base na elevada fidelidade que estas aves demonstram em relação ao local de nidificação (Thibault, 1994). Contudo, pode também dever-se à diferente disponibilidade alimentar das duas zonas (Granadeiro, 1991 e 1993), visto que a Selvagem se encontra localizada num sistema pelágico e pouco produtivo e a Berlenga num sistema nerítico e mais produtivo (Paiva *et al.* 2010a).

Alguns estudos já comprovaram que esta subespécie possui elevada plasticidade comportamental (Paiva *et al.* 2010a), provavelmente relacionado com o facto de ser um predador generalista (Granadeiro *et al.* 1998b) capaz de percorrer grandes distâncias (Mougin e Jouanin, 1997). O seu raio máximo de prospecção pode ultrapassar os 1000km durante o período de reprodução (Mougin e Jouanin, 1997).

Já se encontra comprovado que algumas das populações de *C. diomedea borealis* tiram partido de uma estratégia bimodal, nomeadamente nos Açores (Magalhães *et al.* 2008; Paiva *et al.* 20010b) e nas ilhas Desertas (Paiva *et al.* 2010a), enquanto que nas Canárias utilizam uma estratégia unimodal (Navarro e González-Solís, 2009; Paiva *et al.* 2010a). No que diz respeito às populações deste estudo, a da Berlenga parece igualmente tirar partido de uma estratégia unimodal (Paiva *et al.* 2010d), enquanto que na Selvagem já foi documentada a estratégia bimodal (Mougin e Jouanin, 1997; Paiva *et al.* 2010a), embora em alguns anos esta pareça não ter sido adoptada (Granadeiro *et al.* 1998a, Hamer *et al.* 1999). Apesar desta diversidade de estratégias de aprovisionamento, são poucos os estudos que investigam e comparam a dieta desta subespécie em diferentes populações. Os que existem estão limitados a algumas colónias dos Açores (Granadeiro *et al.* 1998b; Magalhães, 2007), enquanto que nas Desertas (Madeira) e nas duas colónias consideradas neste estudo apenas foi investigada recentemente por Paiva *et al.* (2010e). Sabe-se que esta subespécie se alimenta principalmente de peixes (Granadeiro *et al.* 1998b; Furness *et al.* 2000; Camphuysen e Meer, 2001; Navarro *et al.* 2009) e de invertebrados (Haney e McGillivray, 1985; Hartog e Clarke, 1996; Granadeiro *et al.* 1998b; Navarro *et al.* 2009). No entanto, como já referido, considera-se igualmente que esta actividade está dependente da disponibilidade dos recursos.

Segundo Hamer *et al.* (1999) a alimentação das crias desta subespécie pode ser altamente variável. Em condições de baixa disponibilidade alimentar, como é o caso mais frequente na Selvagem, os progenitores visitam os ninhos menos frequentemente e o uso de uma estratégia bimodal torna os intervalos de alimentação mais longos (Granadeiro *et al.* 1998a), podendo ser superiores a 3 dias (Mougin e Jouanin, 1997). No entanto, quando as condições são favoráveis, a frequência de alimentação torna-se maior. De facto, Ramos *et al.* (2003) constataram que esta frequência é maior na Selvagem do que na Berlenga. Posto isto, é expectável que as crias da Selvagem exibam uma menor condição corporal do que as crias da Berlenga.

Certas características desta subespécie, como o maior tamanho corporal dos machos (Granadeiro, 1993), bicos mais fortes e mais robustos comparativamente às fêmeas (Navarro *et al.* 2009), assim como visitas mais frequentes ao ninho por parte destes (Granadeiro *et al.* 1998c) podem induzir diferenças significativas na estratégia de aprovisionamento de cada sexo e, conseqüentemente, na sua dieta. No entanto, ainda não existem estudos acerca da segregação sexual da dieta de machos e fêmeas desta ave.

Análise da dieta

A análise da dieta convencional continua ainda hoje a ser extremamente vantajosa neste tipo de estudos, uma vez que nos fornece informação acerca dos itens específicos da dieta dos animais, permitindo assim identificar e quantificar as presas consumidas (Barrett *et al.* 2007). No entanto, devido a vários factores, este género de análise provoca algum enviesamento dos resultados (Duffy e Jackson, 1986; Hobson *et al.* 1994; González-Solís *et al.* 1999; Tierney *et al.* 2008). Um deles consiste nas diferentes taxas de digestibilidade dos vários tipos de presas (Neves *et al.* 2006) - por exemplo, presas de corpo mole são mais rapidamente digeridas (Hobson *et al.* 1994; Forero *et al.* 2002). Também o tamanho das refeições é um factor de enviesamento. Neves *et al.* (2006) demonstraram em cagaras e Hilton *et al.* (1998) em nove outras espécies de aves marinhas, que refeições maiores são retidas durante mais tempo no tubo digestivo do que refeições mais pequenas. Outros factores como o tempo decorrido entre a ingestão e a recolha estomacal, ou seja, o tempo de permanência na cavidade digestiva até à recolha para análise, também exercem alguma influência (Neves *et al.* 2006). Muitas espécies regressam à colónia apenas à noite ou no final do dia para alimentar as suas crias, como é o caso das cagaras (Granadeiro *et al.* 1998c). Portanto, o alimento capturado durante a manhã encontrar-se-á mais digerido do que o alimento capturado ao fim da tarde (Spear *et al.* 2007). Todos estes factores podem conduzir a uma sub-amostragem. Finalmente, outra desvantagem é o facto de este tipo de estudos de dieta se encontrar restrito a períodos em que os animais possuem alimento nos seus estômagos (Hobson, 1993; Quillfeldt *et al.* 2005).

Outra técnica relativamente recente mas também muito útil em estudos de dieta é a análise isotópica. Esta consiste em medir a abundância proporcional dos isótopos estáveis em diferentes tecidos dos animais (Peterson e Fry, 1987). A utilidade desta prática reside no facto de diferentes itens alimentares geralmente possuírem diferentes assinaturas isotópicas, que por sua vez se reflectem nos tecidos dos seus consumidores (DeNiro e Epstein, 1978; Peterson e Fry, 1987; Bearhop *et al.* 2002), persistindo assim em todos os níveis tróficos da cadeia alimentar (Kelly, 2000). Normalmente em estudos de dieta são utilizados os isótopos de carbono (^{13}C) e azoto (^{15}N) (Inger e Bearhop, 2008). Na natureza ocorre um enriquecimento gradual do ^{15}N em cada nível trófico, variando entre cerca de 3 a 5 partes por mil (Peterson e Fry, 1987; Barrett *et al.* 2007). Como tal, este isótopo é utilizado para fornecer indicações acerca do nível trófico

ocupado por um predador (Barrett *et al.* 2007). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ fornecem menos informação acerca dos níveis tróficos, uma vez que apenas demonstram aumentos na ordem dos 0.0 e 1.0 partes por mil (DeNiro e Epstein, 1978). No entanto, podem revelar diferentes fontes de alimentação, indicando se, nos habitats marinhos, a alimentação ocorreu na zona costeira (nerítica) ou no mar alto (oceânica), visto que o fitoplâncton tem uma assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ mais negativa do que muitas plantas costeiras (France, 1995). Pode indicar ainda se a alimentação ocorreu em meio pelágico ou benthico (Hobson *et al.* 1994), uma vez que o fitoplâncton benthico é mais enriquecido em ^{13}C do que o pelágico (France, 1995; Kelly, 2000). Verificou-se também que existe uma correlação negativa entre a latitude e os valores de $\delta^{13}\text{C}$ (Hobson *et al.* 1994; Quillfeldt *et al.* 2005; Cherel e Hobson, 2007). Assim, as escalas geográficas vastas, as assinaturas deste isótopo podem ser usadas como um indicador aproximado da zona de alimentação das aves marinhas (Forero *et al.* 2002).

Diferentes tecidos fornecem informação acerca da dieta em diferentes escalas temporais (Peterson e Fry, 1987; Bugoni *et al.* 2008), isto porque a integração da dieta ocorre durante a formação dos tecidos (Bearhop *et al.* 2002, Pearson *et al.* 2003, Cherel *et al.* 2005a, Podlesak e McWilliams, 2006), que são sintetizados e substituídos a diferentes ritmos. Portanto, e conforme o tecido considerado, este pode reflectir a dieta acumulada durante alguns dias, semanas ou mesmo anos (Dalerum e Angerbjörn, 2005; Barrett *et al.* 2007).

O estudo da dieta através dos isótopos estáveis permite ultrapassar algumas das limitações da análise dos conteúdos estomacais. Durante o período reprodutor, a dieta das aves marinhas pode ser muito difícil de determinar, visto que os indivíduos tendem a passar muito tempo longe de terra (Inger e Bearhop, 2008). Como os isótopos preservam a informação ao longo do espaço e do tempo (Barrett *et al.* 2007), esta técnica revela-se extremamente vantajosa para ultrapassar este obstáculo. Ao contrário dos métodos convencionais, que normalmente apenas nos fornecem uma “imagem instantânea” da dieta dos indivíduos (Inger e Bearhop, 2008), ou seja, traduzem apenas a dieta ingerida, os isótopos traduzem a dieta assimilada, reflectindo as variações tanto a curto como a longo termo (Peterson e Fry, 1987; Araújo *et al.* 2007). Além disso, durante o período reprodutor, apenas obtemos a dieta das crias, visto que a comida que os progenitores trazem para a colónia se destina àquelas (Hobson, 1993). O uso de isótopos estáveis permite também investigar mais facilmente diferenças entre classes etárias e entre os sexos (Forero *et al.* 2002). Concretamente a análise isotópica do

sangue, que integra informação por um período de várias semanas, é menos invasiva que a análise de dieta convencional, pois requer um menor tempo de manipulação das aves e há um menor potencial de ferimento dos animais, para além de não lhes ser negada uma refeição (Tierney *et al.* 2008).

No entanto, como qualquer método, a utilização de isótopos estáveis também possui algumas desvantagens que podem levar a uma deturpação dos resultados. Por exemplo, se os vários componentes da dieta não forem imediatamente assimilados nos tecidos, ou seja, se forem armazenados antes desse processo, cria-se um hiato temporal entre o seu consumo e a sua incorporação e isto irá reflectir-se nas assinaturas (Dalerum e Angerbjorn, 2005; Inger e Bearhop, 2008). Este hiato entre consumo e incorporação nos tecidos pode ser maior ou menor conforme o tecido, outra razão para que diferentes tecidos apresentem diferentes assinaturas (Dalerum e Angerbjorn, 2005). Também o estado fisiológico do animal parece influenciar os valores isotópicos (Hobson *et al.* 1993; Kelly, 2000; Sears *et al.* 2009): animais sob stress hídrico (Kelly, 2000) e alimentar (Hobson *et al.* 1993; Adams e Sterner, 2000; Kelly, 2000) possuem uma assinatura de ^{15}N mais elevada do que animais em condições normais. Outro factor proposto por alguns autores (Sears *et al.* 2009) como influenciador das assinaturas isotópicas é a idade. Finalmente, o facto de diferentes indivíduos apresentarem assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ semelhantes não significa necessariamente que a composição da sua dieta seja semelhante ou que provenha das mesmas áreas (Inger e Bearhop, 2008). Aves que se alimentam em águas localizadas em latitudes semelhantes, podem mostrar uma assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ idêntica, mesmo que essas águas se localizem em áreas diferentes, visto que os valores deste isótopo não parecem variar com a longitude. Além disso, pode ainda ocorrer uma sobreposição dos gradientes latitudinal, vertical e horizontal da assinatura do $\delta^{13}\text{C}$ (Cherel e Hobson, 2007).

A utilização conjunta da análise isotópica e da análise convencional permite interpretar melhor e corroborar os resultados de cada uma destas análises, bem como colmatar as desvantagens que cada uma delas possui. Assim, em estudos de dieta, a sua combinação é complementar e produz resultados mais robustos e fidedignos (Cherel e Hobson, 2007), possibilitando uma nova visão acerca da dieta e dos processos de aquisição dos recursos alimentares (Cherel *et al.* 2005b; Inger e Bearhop, 2008), bem como dos padrões de movimentação das aves. São vários os estudos que avaliam a dieta de aves marinhas com base na interpretação integrada destas duas análises (ex. Sydeman *et al.* 1997; Araújo *et al.* 2007; Cherel *et al.* 2007; Cherel, 2008; Tierney *et al.*

2008). Esta investigação é fundamental para uma melhor compreensão da ecologia alimentar destas aves (Kelly, 2000; Inger e Bearhop, 2008) e é um pré-requisito para a sua conservação (Cherel e Hobson, 2007).

Os objectivos deste trabalho são verificar: (1) se os itens alimentares consumidos pelos indivíduos das duas colónias diferem, (2) se existe segregação entre a dieta das diferentes classes etárias (adultos e crias) e entre os sexos (machos e fêmeas reprodutores) e (3) se a condição corporal das crias difere e de que forma entre estas duas populações.

Materiais e métodos

Área de estudo

Este trabalho foi levado a cabo em duas colónias de reprodução de *C. diomedea borealis*: Selvagem Grande (30° 09'N, 15° 52'W) e Berlenga (39°24'N,9°30'W). A primeira constitui a maior ilha do grupo das Selvagens, encontrando-se, aproximadamente, a 300km da Madeira e a 170km de Tenerife. É uma ilha vulcânica de 160 hectares (Zino e Biscoito, 1994), localizada num sistema oceânico pouco produtivo (Paiva *et al.* 2010a). Alberga a maior colónia do mundo de *C. diomedea borealis*, estimada em cerca de 30.000 casais reprodutores (Granadeiro *et al.* 2006). Nesta ilha muitos indivíduos retornam à colónia ainda durante o dia (Zino e Biscoito, 1994), ao contrário do que acontece em todas as outras colónias, em que apenas regressam à noite (Granadeiro *et al.* 1998c). A Berlenga, juntamente com as Estelas e os Farilhões constituem as ilhas da Berlenga, um pequeno grupo de ilhas graníticas, localizado ao largo do continente português, na plataforma continental. Nesta ilha reside a única colónia desta subespécie existente na costa atlântica da Península Ibérica (Granadeiro, 1991). Nela nidificam cerca de 300 casais (Lecoq *et al.* 2010).

Amostragem

O trabalho de campo decorreu durante os meses de Agosto e Setembro. As amostras de dieta (conteúdos estomacais) foram recolhidas entre 16 e 30 de Agosto de 2009 e 17 e 31 de Agosto de 2010 na Selvagem. Na Berlenga foram recolhidas de 11 a 17 de Agosto de 2009 e de 16 a 18 de Agosto de 2010. As amostras sanguíneas foram colhidas apenas em 2010, entre os dias 2 e 4 de Setembro na Selvagem e no dia 27 de Agosto na Berlenga. Estas amostras foram recolhidas mais tarde que os conteúdos estomacais de forma a corresponderem ao mesmo período de análise, uma vez que a dieta demora cerca de 2 semanas a ser integrada no sangue (Hobson e Clark, 1992a). Em ambas as colónias a amostragem dos locais e dos indivíduos foi aleatória. De salientar que se recolheu um número inferior de amostras na Berlenga, devido ao menor número de indivíduos existente nesta colónia. Todas as amostras foram obtidas sob licença concedida pelo Parque Natural da Madeira (Selvagem) e pelo ICNB (Berlenga).

Os conteúdos estomacais foram colhidos de adultos reprodutores através do método de “water offloading” (Wilson, 1984) e as amostras assim obtidas foram armazenadas em etanol a 70%, à temperatura ambiente. Antes do armazenamento definitivo das amostras, realizou-se uma triagem prévia em que o óleo e a água foram separados da fracção sólida, sendo esta última guardada novamente em etanol para posterior análise em laboratório. Ainda que vários autores (Wilson, 1984; Hilton *et al.* 1998; Neves *et al.* 2006) tenham verificado que são necessárias várias lavagens para obter a totalidade do conteúdo estomacal, este procedimento apenas foi realizado uma vez em cada ave, de forma a minimizar a perturbação exercida que poderia comprometer a reprodução e o próprio bem-estar dos indivíduos. Para além disso, Granadeiro *et al.* (1998b) conduziram alguns testes em que não se obtiveram “estruturas duras” adicionais com mais do que uma lavagem. Após a recolha, os indivíduos foram então marcados, recorrendo à coloração de algumas penas, para que não voltassem a ser perturbados.

Procedeu-se ainda à determinação do sexo dos indivíduos amostrados, através das suas vocalizações e através de funções discriminantes baseadas em medidas do bico (Granadeiro, 1993).

Análise convencional da dieta

Em laboratório, a identificação dos peixes foi realizada com base nas suas vértebras e também nos otólitos, quando estes foram encontrados em boas condições (uma vez que as cagaras ingerem as suas presas pela cabeça, muitas vezes estas estruturas encontram-se já bastante danificadas pelos processos digestivos ou nem sequer são encontradas). As vértebras são mais resistentes à digestão ácida do que os otólitos (Granadeiro e Silva, 2000) e, portanto, constituíram os principais componentes identificativos. De qualquer maneira, ambos (vértebras e otólitos) possuem características diagnósticas que permitem a identificação das amostras ao nível do género e até da espécie (Granadeiro e Silva, 2000). Para a sua identificação foram utilizadas chaves publicadas (ex. Granadeiro e Silva, 2000), bem como colecções de referência organizadas para o efeito. Para as restantes presas foram consideradas estruturas como os exoesqueletos e os bicos, no caso dos crustáceos e cefalópodes, respectivamente. Para evitar a sobrestimativa do número dos cefalópodes, causada pela acumulação de bicos nos proventrículos ou nas moelas, foram contabilizados apenas os “bicos frescos”, ou seja, os exemplares que apresentassem massa muscular ainda presa ao bico, indicando ingestão recente. Nos crustáceos e nos cefalópodes não se procedeu à sua identificação para lá do sub-filo e da classe, respectivamente.

Em cada amostra foi estimado o número total de presas. Para cada *taxon* foi calculada a sua percentagem numérica (percentagem do número total de itens do *taxon* em questão a dividir pelo número total de itens de todos os *taxa* encontrados nas amostras) e a frequência de ocorrência (percentagem do número total de amostras em que o *taxon* em questão está presente). A composição da dieta foi analisada ainda com base no índice de diversidade de Shannon (segundo Velando e Freire, 1999).

Análise isotópica da dieta

As amostras de sangue foram colhidas dos progenitores e das respectivas crias. Retirou-se cerca de 0,1 ml de sangue a partir de uma veia da pata, sendo este armazenado à temperatura ambiente e preservado em etanol a 70%. No processamento das amostras não se procedeu à remoção do conteúdo lipídico do sangue, pois estudos realizados demonstram que esta não é necessária (Bearhop *et al.* 2000; Cherel *et al.*

2005a; Barrow *et al.* 2008), visto que a componente lipídica no sangue das aves é geralmente muito baixa (Cherel, 2008) e, como tal, é improvável que a sua magnitude influencie a assinatura global dos isótopos (Bearhop *et al.* 2000).

Para a obtenção das assinaturas isotópicas, as amostras sanguíneas foram secas numa estufa a uma temperatura de 50°C durante aproximadamente 42h, de forma a remover o etanol utilizado na preservação. Sub-amostras de $1 \pm 0,1$ mg de sangue foram pesadas em cápsulas de estanho de 8×5 milímetros e sujeitas a combustão a 1000°C num “Euro EA Elemental Analyser”. Os gases resultantes de CO₂ e N₂ foram, então, analisados através de um espectrómetro de fluxo contínuo de massa de razão isotópica IsoPrime (Micromass), com as incógnitas separadas por padrões laboratoriais. As assinaturas dos isótopos estáveis são expressas em notação δ em partes por mil (‰) segundo a seguinte equação:

$$\delta X = [(R_{amostra}/R_{padrão}) - 1] \times 1000$$

onde X representa ¹³C ou ¹⁵N e R a razão correspondente de ¹³C/¹²C ou ¹⁵N/¹⁴N. Os valores de R_{padrão} foram baseados em “Pee Dee Belemnite” para o ¹³C e azoto atmosférico (N₂) para o ¹⁵N. Medições repetidas dos padrões laboratoriais mostraram erros de medição de $\pm 0,15$ ‰ e de $\pm 0,06$ ‰ para as medições dos isótopos de carbono e azoto, respectivamente. Foram realizadas amostras de controlo da qualidade antes e após cada sequência de análises. Estes procedimentos foram realizados no laboratório SIIAF - CBA (“Stable Isotopes and Instrumental Analysis Facility”) da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Análise biométrica

A fim de se estabelecer um índice de condição corporal das crias, registou-se ainda o peso e o comprimento da asa de 49 crias (30 na Selvagem e 19 na Berlenga). Estas foram pesadas com uma aproximação de 5g e o comprimento da asa medido com uma régua com aproximação de 1 mm. Pelo facto de não conhecermos a idade exacta das crias, utilizámos o comprimento da asa como indicador da mesma, visto que a asa parece crescer linearmente com a idade durante o período de criação em causa. Esta medida aparenta também ser pouco sensível a variações a curto prazo no fornecimento

de alimento, uma vez que a asa demonstra um crescimento mais lento e mais contínuo comparativamente a outras estruturas como o tarso ou o bico (Granadeiro, 1991). Como tal, introduzimos o comprimento da asa como co-variável para remover possíveis efeitos da idade na massa corporal das crias.

Análise estatística

Os valores apresentados constituem as médias \pm desvio-padrão. Todos os dados (excepto os da dieta, visto tratarem-se de variáveis categóricas) foram analisados quanto à normalidade (através da análise dos gráficos de normalidade e do teste de Kolmogorov-Smirnov) e homogeneidade das variâncias (teste de Levene). Uma vez que estas condições se verificaram, foram utilizados testes paramétricos na análise dos dados. No âmbito da dieta, através do teste Exacto de Fisher foram testadas diferenças entre colónias, entre anos e entre sexos ao nível das frequências (numérica e de ocorrência) das presas. Em alguns destes testes as espécies foram agrupadas em três grupos com afinidades particulares relativamente ao seu habitat preferido: espécies pelágicas (*Naucrates ductor*, *Katsuwonis pelamis*, *Exocoetus* sp., *Cheilopogon* sp./*Cheilopogon exsiliens* e Cephalopoda), espécies costeiras (*Sardina pilchardus*, *Belone* sp. e *Engraulis encrasicolus*) e espécies generalistas (*Scomber* sp./*Scomber colias*, *Scomberesox* sp., *Capros aper*, *Trachurus trachurus*/*Trachurus* sp., *Macrorhamphosus scolopax* e Crustacea). As diferenças ao nível das assinaturas isotópicas entre colónias e entre classes etárias (adultos e crias) foram avaliadas com o teste ANOVA de duas entradas. As diferenças entre adultos e crias de cada colónia foram também testadas com testes t para amostras emparelhadas, visto que cria e adulto estão associados ao mesmo ninho. A segregação entre os sexos foi avaliada nas assinaturas isotópicas (testes t para amostras independentes) e nas amostras de dieta (Teste Exacto de Fisher) de ambas as colónias. Finalmente, um índice de condição corporal das crias foi obtido a partir dos resíduos não estandardizados de regressões do peso em função do comprimento da asa e, posteriormente, comparado entre colónias com testes t para amostras independentes.

Os dados foram analisados estatisticamente usando o software SPSS 19.

Resultados

Para a caracterização da dieta foram analisados 177 conteúdos estomacais, sendo 127 da Selvagem (62 obtidos em 2009 e 65 em 2010) e 50 da Berlenga (26 em 2009 e 24 em 2010). Nalgumas amostras não foi possível a identificação das espécies de peixes por os seus componentes estarem demasiado degradados ou por não se possuir um exemplar na colecção de referência. A percentagem numérica mais elevada destas presas não identificadas foi de 21,4% e ocorreu nas amostras de 2009 da Berlenga. Nas restantes amostras, esta percentagem foi sensivelmente mais baixa (Fig. 2).

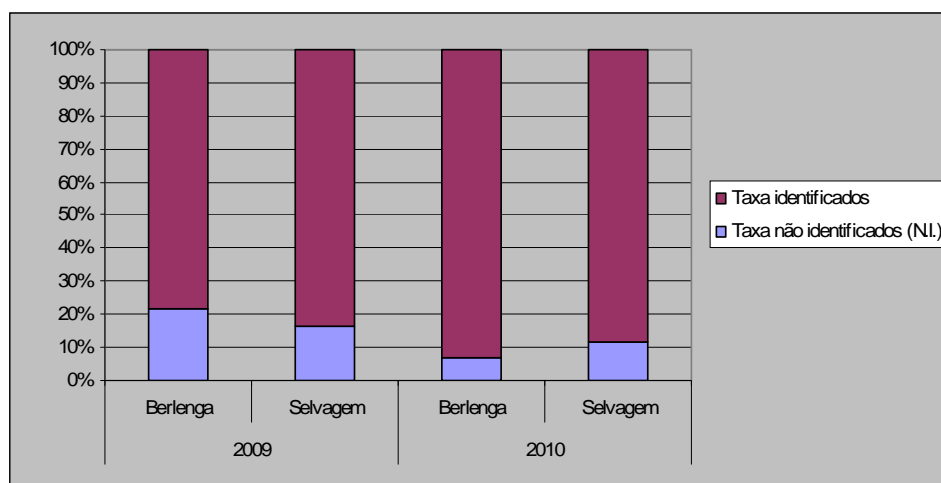


Figura 2. Frequência numérica (%) das espécies de peixe identificadas e não identificadas em ambos os anos e em ambas as colónias (Berlenga: n=42 e n=30 em 2009 e 2010; Selvagem: n=142 e n=252 em 2009 e 2010, respectivamente).

A composição da dieta expressa em frequência numérica e em frequência de ocorrência encontra-se compilada na Tabela 1.

Tabela 1. Frequência numérica (%) e de ocorrência (%) dos *taxa* presentes nos conteúdos estomacais analisados.

Taxon	Frequência numérica (%)				Frequência de ocorrência (%)			
	2009		2010		2009		2010	
	Berlenga (n=26)	Selvagem (n=62)	Berlenga (n=24)	Selvagem (n=65)	Berlenga (n=26)	Selvagem (n=62)	Berlenga (n=24)	Selvagem (n=65)
<i>Sardina pilchardus</i>	19,1	4,2	13,3	20,2	15,4	9,7	12,5	36,9
<i>Belone sp.</i>	11,9	0,7	36,7	0,8	19,2	1,6	45,8	1,5
<i>Scomber sp./Scomber colias</i>	23,8	36,6	20,0	19,1	26,9	41,9	20,8	38,5
<i>Scomberosox sp.</i>	16,7	1,4	16,7	1,2	19,2	3,2	20,8	3,1
<i>Capros aper</i>	0	0	3,3	0,4	0	0	4,2	1,5
<i>Trachurus trachurus/Trachurus sp.</i>	4,8	0	3,3	2,0	7,7	0	4,2	6,2
<i>Naucrates ductor</i>	0	12,0	0	9,5	0	14,5	0	18,5
<i>Exocoetus sp.</i>	0	0,7	0	1,6	0	1,6	0	6,2
<i>Macrorhamphosus scolopax</i>	0	0	0	0,8	0	0	0	3,1
<i>Engraulis encrasicolus</i>	0	0,7	0	1,2	0	1,6	0	3,1
<i>Katsuwonis pelamis</i>	0	4,2	0	1,6	0	9,7	0	6,2
<i>Cheilopogon sp./Cheilopogon exsiliens</i>	0	1,4	0	0,4	0	3,2	0	1,5
Crustacea	2,4	1,4	0	8,7	3,9	3,2	0	16,9
Cephalopoda	0	20,4	0	20,6	0	29,0	0	52,3
Não identificado (N.I.)	21,4	16,2	6,7	11,9	34,6	35,5	8,3	33,9

Na totalidade foram identificados 14 *taxa*. As espécies de peixe dominaram a dieta em ambas as colónias, compreendendo mais de 66% da totalidade dos itens identificados. A importância dos itens alimentares, avaliada pela frequência numérica e de ocorrência, variou conforme o ano. *Scomber sp./Scomber colias* foram as principais presas em ambas as colónias no ano de 2009. Em 2010 registou-se uma maior frequência de *Belone sp.* na Berlenga e *Sardina pilchardus* e *Scomber sp./Scomber colias* na Selvagem. A maior diferença entre a dieta das duas ilhas reside na ausência de consumo de cefalópodes na Berlenga (Tabela 1).

Em 2009, a frequência de ocorrência de *Belone sp.* e *Scomberosox sp.* foi significativamente mais elevada na Berlenga (Teste Exacto de Fisher: $p=0,008$ e Teste Exacto de Fisher: $p=0,022$, respectivamente). Também a frequência da classe Cephalopoda variou significativamente entre as colónias (Teste Exacto de Fisher: $p=0,001$), visto que a sua presença apenas se registou na Selvagem (Tabela 1). Do mesmo modo em 2010, verificou-se uma frequência de ocorrência significativamente maior dos *taxa* *Belone sp.* e *Scomberosox sp.* na Berlenga (Teste Exacto de Fisher:

$p < 0,001$ e Teste Exacto de Fisher: $p = 0,014$, respectivamente). Também a frequência de *N. ductor* (Teste Exacto de Fisher: $p = 0,031$), Crustacea (Teste Exacto de Fisher: $p = 0,032$) e Cephalopoda (Teste Exacto de Fisher: $p < 0,001$), diferiu significativamente entre as colónias, tendo a sua presença apenas sido detectada nos conteúdos estomacais dos indivíduos da Selvagem (Tabela 1). Nesta colónia, entre 2009 e 2010, a frequência de ocorrência de cefalópodes (Teste Exacto de Fisher: $p = 0,011$), crustáceos (Teste Exacto de Fisher: $p = 0,017$) e *S. pilchardus* (Teste Exacto de Fisher: $p < 0,001$) aumentou significativamente. Na Berlenga, a frequência de ocorrência manteve-se constante em todos os taxa, sem variação significativa em nenhum deles.

Agrupando os taxa verificamos que, como seria de esperar, na Berlenga a maior parte das presas são costeiras e generalistas, destacando-se a ausência de taxa pelágicos, enquanto que na Selvagem a grande maioria são, efectivamente, presas pelágicas e também generalistas, tendo as costeiras uma menor expressão (Fig. 3).

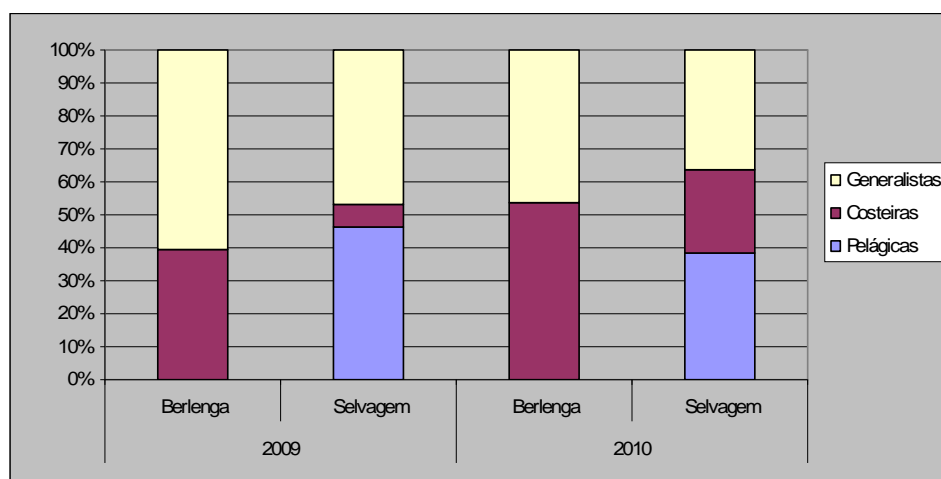


Figura 3. Frequência numérica (%) das presas pelágicas, costeiras e generalistas em ambos os anos e ambas as colónias (Berlenga: $n = 33$ e $n = 28$ em 2009 e 2010; Selvagem: $n = 119$ e $n = 222$ em 2009 e 2010, respectivamente).

Estatisticamente, apenas se registaram diferenças significativas entre as colónias ao nível da frequência de ocorrência das presas pelágicas em ambos os anos considerados (Teste Exacto de Fisher: 2009: $p < 0,001$; 2010: $p < 0,001$). Na Selvagem, entre 2009 e 2010 esta frequência variou significativamente (Teste Exacto de Fisher: pelágicas: $p = 0,021$; costeiras: $p = 0,001$) excepto nas presas generalistas (Teste Exacto de Fisher: $p = 0,480$). Paralelamente, na Berlenga, tanto a frequência de ocorrência das presas costeiras como das generalistas não diferiu significativamente de um ano para o

outro (Teste Exacto de Fisher: $p=0,086$ e Teste Exacto de Fisher: $p=0,778$, respectivamente). Relativamente à frequência numérica (Fig. 3), esta diferiu significativamente entre as colónias ao nível das presas pelágicas (Teste Exacto de Fisher: 2009: $p<0,001$; 2010: $p<0,001$) e costeiras (Teste Exacto de Fisher: 2009: $p<0,001$; 2010: $p=0,003$) em ambos os anos. Entre 2009 e 2010 apenas na Selvagem se verificaram variações desta frequência, nomeadamente ao nível das presas costeiras (Teste Exacto de Fisher: $p<0,001$).

Estabelecendo a comparação entre as frequências numéricas das espécies de peixe e de invertebrados (crustáceos e cefalópodes), verifica-se que a composição do alimento fornecido às crias na Berlenga é significativamente mais rica em peixe (Fig. 4) do que a composição da dieta das crias da Selvagem em ambos os anos (Teste Exacto de Fisher: 2009 e 2010: $p<0,001$).

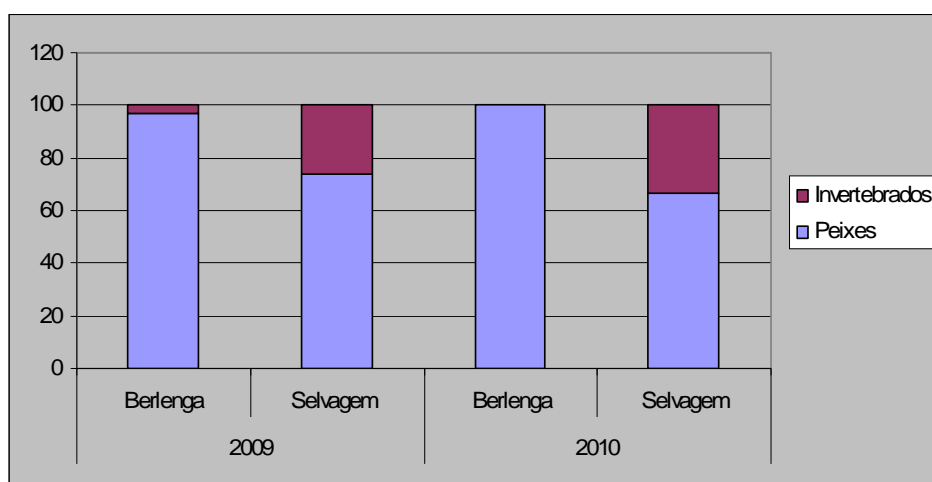


Figura 4. Frequência numérica (%) de invertebrados e peixes na dieta das crias de 2009 e 2010 em ambas as colónias (Berlenga: $n=33$ e $n=28$ em 2009 e 2010; Selvagem: $n=119$ e $n=222$ em 2009 e 2010, respectivamente).

O índice de diversidade de Shannon (H) foi bastante semelhante em 2009 entre a Berlenga e a Selvagem ($H=1,443$ e $H=1,498$, respectivamente). Já em 2010 a heterogeneidade entre colónias foi maior, verificando-se uma maior diversidade na dieta da Selvagem (Berlenga: $H=1,483$ e Selvagem: $H=1,837$). Este índice foi similar entre os dois anos na Berlenga, enquanto que na Selvagem sofreu uma maior variação.

Em 2009 a comparação entre os sexos não evidenciou segregação na dieta de machos e fêmeas. Os dados não demonstraram diferenças significativas entre as frequências de ocorrência tanto das presas costeiras (Teste Exacto de Fisher: Selvagem:

p= 0,660; Berlenga: p=0,078) como das generalistas (Teste Exacto de Fisher: Selvagem: p= 0,770; Berlenga: p=1,000) em ambas as colónias e de presas pelágicas (Teste Exacto de Fisher: p= 0,549) na Selvagem. Em 2010 não se verificou igualmente diferenciação entre os sexos ao nível da frequência de ocorrência quer numa colónia quer noutra, excepto na Selvagem ao nível das presas generalistas (Teste Exacto de Fisher: p=0,018). Quanto à frequência numérica, nenhuma das presas diferiu significativamente entre os sexos em nenhuma das colónias e em nenhum dos anos (Fig. 5).

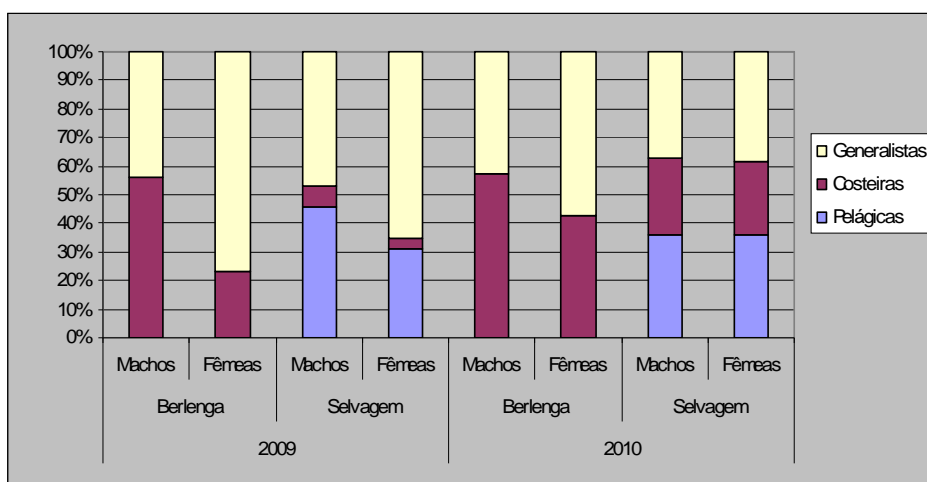


Figura 5. Frequência numérica (%) dos três tipos de presas: pelágicas, costeiras e generalistas em 2009 e 2010 de machos (Berlenga: n=16 e n=21 em 2009 e 2010; Selvagem: n=79 e n=119 em 2009 e 2010, respectivamente) e de fêmeas (Berlenga: n=13 e n=7 em 2009 e 2010; Selvagem: n=29 e n=83 em 2009 e 2010, respectivamente) em ambas as colónias.

Agrupando os dados em espécies de peixe e de invertebrados e comparando as suas frequências numéricas, também não se verificam diferenças significativas entre machos e fêmeas (fig. 6), quer na Selvagem quer na Berlenga em ambos os anos considerados (Teste Exacto de Fisher: 2009: Selvagem: p=0,355; Berlenga: p=0,448; 2010: Selvagem: p=0,880).

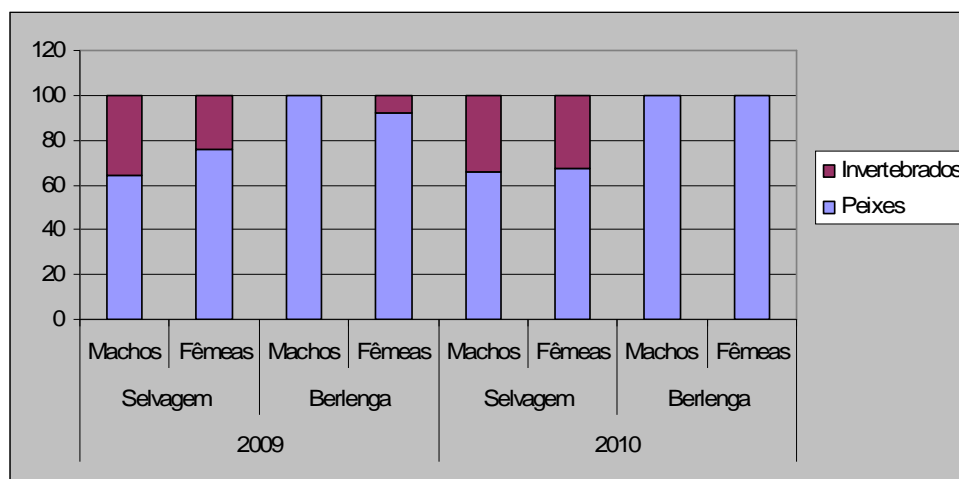


Figura 6. Frequência numérica (%) de peixes e invertebrados em 2009 e 2010 de machos (Berlenga: n=16 e n=21 em 2009 e 2010; Selvagem: n=79 e n=119 em 2009 e 2010, respectivamente) e de fêmeas (Berlenga: n=13 e n=7 em 2009 e 2010; Selvagem: n=29 e n=83 em 2009 e 2010, respectivamente) em ambas as colónias.

As assinaturas isotópicas obtidas encontram-se nas Tabelas 2 e 3.

Tabela 2. Média dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no ano de 2010 em ambas as colónias e classes etárias e respectivos desvios-padrão (amostras de sangue de *C. diomedea borealis*; ver métodos).

Colónia	Classe etária	N	Média ^{13}C	Desvio-padrão ^{13}C	Média ^{15}N	Desvio-padrão ^{15}N
Selvagem	Adultos	29	-17,6	0,9	10,0	0,4
	Crias		-19,1	0,5	9,5	0,4
Berlenga	Adultos	20	-18,2	0,4	11,5	0,3
	Crias		-18,9	0,3	11,7	0,3

Em ambas as colónias verificou-se um efeito da idade nas assinaturas isotópicas tanto do carbono (Selvagem- amostras emparelhadas: $t_{28}=7,025$, $p<0,001$; Berlenga- amostras emparelhadas: $t_{19}=8,016$, $p<0,001$), como do azoto (Selvagem- amostras emparelhadas: $t_{28}=5,064$, $p<0,001$; Berlenga- amostras emparelhadas: $t_{19}=-3,146$, $p=0,005$). No geral, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mostraram ser mais altos nos adultos do que nas crias em ambas as colónias. Relativamente ao ^{15}N , os resultados já foram mais variáveis, sendo que na Berlenga as crias tiveram uma assinatura mais elevada do que os adultos e, na Selvagem, uma assinatura mais baixa (Tabela 2 e Fig. 7 e 8).

A análise ANOVA de duas entradas revelou um efeito significativo da colónia na assinatura de $\delta^{15}\text{N}$ (ANOVA two-way, colónia: $F_{1,95}=695,92$, $p<0,001$), assim como da classe etária (ANOVA two-way, Classe etária: $F_{1,95}=4,166$, $p=0,044$). Verificou-se que o sangue dos indivíduos da Berlenga se encontrava mais enriquecido em ^{15}N do que os da Selvagem (tabela 2). A interacção também foi significativa (ANOVA two-way, Colónia*Classe etária: $F_{1,95}=35,464$, $p<0,001$), o que indica que, para além de haver diferenças etárias significativas entre as colónias ao nível da assinatura de $\delta^{15}\text{N}$, estas são de sentido contrário entre as duas colónias (Tabela 2 e Fig. 7).

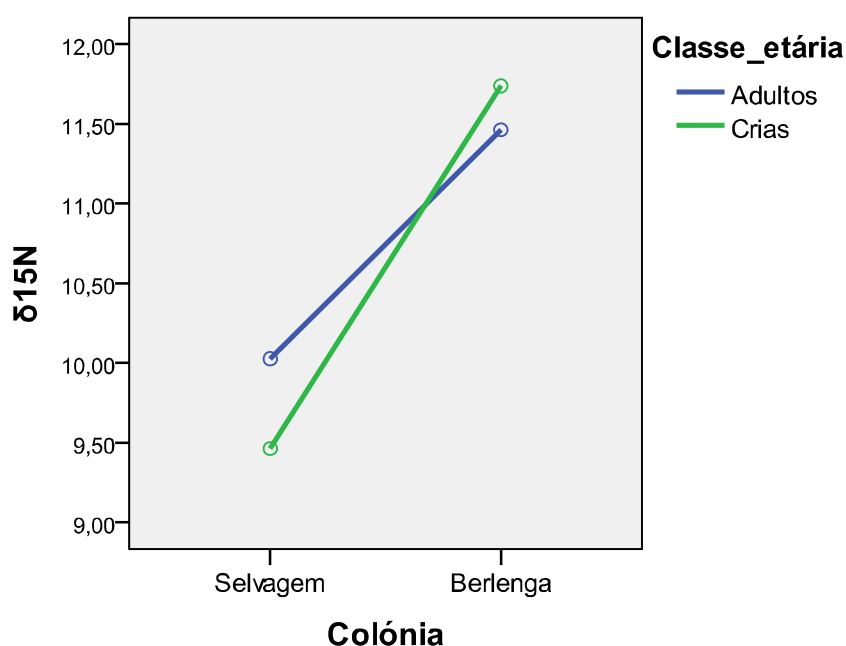


Figura 7. Assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ de crias e adultos e sua interacção nas duas colónias estudadas (Berlenga: $n=29$; Selvagem: $n=20$).

Relativamente à assinatura de $\delta^{13}\text{C}$, as diferenças entre as classes etárias (ANOVA two-way, classe_etária: $F_{1,95}=84,42$, $p=0,005$), bem como a interacção entre os dois factores considerados (colónia e classe etária) revelaram-se significativas, com o sangue das crias mais empobrecido em ^{13}C comparativamente ao dos adultos em ambas as colónias (como já evidenciado pelos testes t). Este empobrecimento, embora não se tenha mostrado estatisticamente significativo (ANOVA two-way, colónia: $F_{1,95}=1,515$, $p=0,221$) foi maior na Selvagem do que na Berlenga (Tabela 2 e Fig. 8).

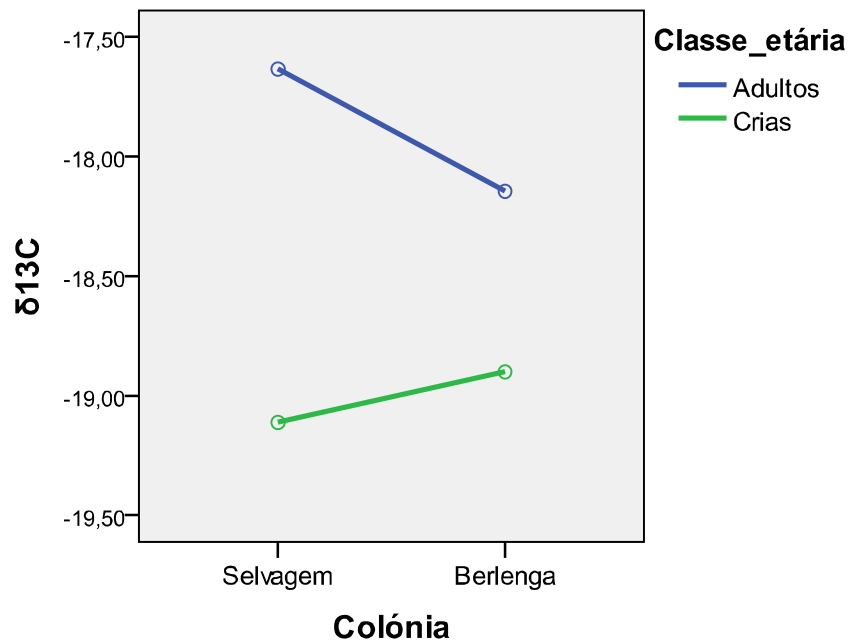


Figura 8. Assinaturas de $\delta^{13}\text{C}$ de crias e adultos e sua interação nas duas colónias estudadas (Berlenga: n=29; Selvagem: n=20).

Na Selvagem a comparação entre os sexos demonstrou não haver diferenças ao nível da assinatura de $\delta^{15}\text{N}$ (teste t: $t_{25}=-0,110$, $p=0,914$) e também de $\delta^{13}\text{C}$ (teste t: $t_{25}=1,611$, $p=0,120$). Pelo contrário, na Berlenga, as diferenças entre machos e fêmeas ao nível das assinaturas isotópicas foram significativas (teste t: ^{15}N : $t_{18}=3,063$, $p=0,007$; ^{13}C : $t_{28}=3,729$, $p=0,002$). Os resultados indicam que os machos possuem níveis mais altos de ^{15}N e ^{13}C do que as fêmeas (Tabela 3).

Por fim, o índice de condição corporal das crias diferiu significativamente entre Selvagem e Berlenga (teste t: $t_{47}=-3,420$, $p=0,001$), sendo este mais elevado na Berlenga (média: $64,3 \pm 106,5$ na Berlenga e $-41,0 \pm 103,5$ na Selvagem).

Tabela 3. Média dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ e $\delta^{15}\text{N}$ no ano de 2010 em ambas as colónias e sexos e respectivos desvios-padrão (amostras de sangue de *C. diomedea borealis*; ver métodos).

Colónia	Sexo	N	Média ^{13}C	Desvio-padrão ^{13}C	Média ^{15}N	Desvio-padrão ^{15}N
Selvagem	Machos	10	-17,5	1,0	10,0	0,3
	Fêmeas	17	-17,9	0,5	10,0	0,6
Berlenga	Machos	15	-18,0	0,3	11,6	0,3
	Fêmeas	5	-18,6	0,2	11,2	0,2

Discussão

Neste trabalho comprovou-se existirem diferenças inter e intra-populacionais na dieta das populações de cagaras *C. diomedea borealis* da Selvagem e da Berlenga. A composição do alimento assim como o seu local de proveniência parecem variar entre adultos e crias de ambas as colónias. Já na dieta de machos e fêmeas não parecem existir variações, o que sugere que o seu comportamento de aprovisionamento, bem como as áreas onde vão buscar o alimento, são semelhantes.

As diferenças verificadas entre as duas colónias podem ser explicadas com base na produtividade das águas envolventes. Na Berlenga, a circulação oceânica (Paiva *et al.* 2010c) e os fenómenos de “upwelling” que se fazem sentir (Sousa *et al.* 2008) contribuem para uma elevada abundância de presas na região adjacente a esta colónia (Paiva *et al.* 2010c). Velando e Freire (1999) atestam que, durante o período reprodutor, as aves exploram recursos que existam em abundância nas águas que rodeiam a colónia. Assim, dispondo de elevada abundância de presas costeiras, as cagaras desta colónia alimentam-se destes recursos próximos, não sendo obrigadas a percorrer longas distâncias para obter alimento. Por outro lado, a elevada temperatura da superfície do mar e os baixos índices de clorofila A das águas que rodeiam a Selvagem sugerem que a produtividade nestas águas é baixa (Paiva *et al.* 2010a). Vários autores (Leopold, 1993; Mougin e Jouanin, 1997; Paiva *et al.* 2010b e d) verificaram que as cagaras desta ilha, na época de reprodução, alimentam-se ao longo da costa leste africana (Marrocos, Sara Ocidental e Mauritânia), onde as águas são produtivas e existe alimento em abundância para as aves marinhas, fruto dos fenómenos de “upwelling” da corrente das Canárias (Mougin e Jouanin, 1997; Davenport *et al.* 2002). Estas aves podem atingir a costa africana cerca de 36h após deixarem a Selvagem, percorrendo cerca de 400km (Mougin e Jouanin, 1997). Também a população das Canárias parece tirar partido destas águas produtivas da Costa de África (Navarro e González-Solis, 2009).

Quanto mais longe se localizam as áreas de alimentação, mais tempo é consumido nas viagens (Kacelnik e Cuthill, 1990). Na Selvagem, a procura de alimento nas águas da costa de África, torna as viagens mais longas. De facto, Catry *et al.* (2009) demonstraram que, durante o período de incubação, as viagens de alimentação eram mais extensas nos indivíduos da Selvagem do que os da Berlenga. Viagens mais longas resultam em taxas de alimentação mais baixas (Schaffner 1990; Davoren e

Montevecchi, 2003) o que leva a uma condição corporal mais pobre (Davoren e Montevecchi, 2003). Assim se explica o índice de condição corporal mais baixo obtido para as crias da Selvagem comparativamente às da Berlenga, tal como Granadeiro *et al.* (1998a) já havia verificado no ano de 1997. Por outro lado, os dados da análise convencional da dieta demonstram que os progenitores da Berlenga fornecem às suas crias quantidades significativamente superiores de peixe do que os da Selvagem, contribuindo para um melhor índice de condição corporal nas crias da Berlenga, uma vez que, em geral, o peixe é mais nutritivo e energético do que os invertebrados (Ainley *et al.* 2003).

Na Selvagem, os valores mais elevados de $\delta^{13}\text{C}$ nos progenitores comparativamente às suas crias e a predominância de espécies pelágicas na dieta destas indicam uma alimentação com origem mais costeira nos adultos e mais pelágica nas crias, o que sugere que, tal como noutras épocas reprodutivas, as cagaras desta colónia tiraram partido de uma estratégia bimodal na época de 2010. As assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ sugerem o mesmo. Os valores mais elevados nos adultos indicam que estes se alimentam de presas de níveis tróficos superiores, fazendo assim sentido que estas provenham de áreas ricas em alimento como a costa de África. Os valores mais baixos deste isótopo, bem como a inclusão de cefalópodes na dieta das crias, sugerem que o ambiente pelágico e pouco produtivo em torno da Selvagem obriga a que os progenitores incluam na dieta da sua descendência mais espécies de invertebrados, nomeadamente cefalópodes, e em maior quantidade do que os da Berlenga. Em concordância, o índice de Shannon (H) indica que a alimentação das crias da Selvagem é mais generalista comparativamente às da Berlenga, que se alimentam de um número mais restrito de presas. Tal sugere que as cagaras da Selvagem não se podem “dar ao luxo” de ser muito especialistas devido às condições mais difíceis que se fazem sentir, sendo obrigadas a fornecer às crias o que conseguem capturar. Já na Berlenga, com um ambiente mais produtivo, as cagaras não necessitam de ser tão generalistas. Posto isto, conclui-se que o esforço para obtenção de alimento é maior nos indivíduos da Selvagem do que nos da Berlenga.

Tal como na Selvagem, na Berlenga verificaram-se igualmente valores mais elevados de $\delta^{13}\text{C}$ nos adultos comparativamente às crias. De acordo com Paiva *et al.* (2010a), apesar da maioria das viagens das cagaras da Berlenga se situar num raio de 50km, alguns destes indivíduos exploram ambientes muito mais distantes, chegando aos 270km de distância da colónia. Portanto, é possível que os progenitores tenham optado

por capturar alimento de maior qualidade para as crias do que aquele que consomem, como já documentado em outras espécies e populações (exemplo: Mcleay *et al.* 2009) e, portanto, procurem estas presas um pouco mais longe da colónia, justificando-se assim, a segregação entre os grupos etários considerados. Uma vez que os adultos desta subespécie se deslocam para a colónia de reprodução cerca de 2 meses antes da postura (Granadeiro, 1991) podem assim, eventualmente, explorar as áreas e escolher/reconhecer os locais mais ricos em (determinado) alimento (Paiva *et al.* 2010b).

A assinatura de $\delta^{15}\text{N}$ na Berlenga também é condizente com o fornecimento às crias de presas diferentes das consumidas pelos progenitores. Os valores mais elevados nas crias sugerem que estas consomem presas de níveis tróficos superiores comparativamente aos seus progenitores. Isto pode ser explicado com base nos requisitos nutricionais mais altos das crias (Forero *et al.* 2002). Assim, os progenitores fornecem-lhes alimento de maior qualidade de forma a facilitar o seu crescimento e desenvolvimento (Spaans, 1971; Hodum e Hobson, 2000). As observações de Paiva *et al.* (2010e) apoiam esta hipótese. Estes autores verificaram que as assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ dos adultos da Berlenga foram consistentemente mais altas no período de criação comparativamente ao de incubação, sugerindo que os adultos, efectivamente, escolhem alimento troficamente superior para alimentar as suas crias. Consumidores de vertebrados possuem valores de $\delta^{15}\text{N}$ mais elevados do que consumidores de invertebrados (Kelly, 2000), o que indica que a dieta das crias é provavelmente mais rica em peixe do que a dos adultos. Assim se explica também o facto de as crias da Selvagem, consumidoras de cefalópodes e de uma menor quantidade de peixe (consequência da menor produtividade das águas que circundam esta colónia) terem demonstrado uma assinatura de $\delta^{15}\text{N}$ mais baixa do que as da Berlenga. A assinatura dos progenitores da Selvagem possui um valor relativamente próximo do das suas crias sugerindo que a dieta destes também inclui alguma percentagem de invertebrados, percentagem que será superior à consumida pelos progenitores da Berlenga.

Apesar do que foi previamente exposto, esta diferença entre as assinaturas dos grupos etários da Berlenga, apesar de significativa, é muito pequena, e pode também resultar de diferenças metabólicas ou fisiológicas entre estes grupos não avaliadas neste trabalho. Por exemplo, tecidos com uma maior quantidade lipídica aparentemente possuem uma assinatura de $\delta^{13}\text{C}$ mais negativa do que tecidos com menor valor lipídico (Tieszen *et al.* 1983; Bodin *et al.* 2007). Cherel *et al.* (2005b) verificaram um maior

conteúdo lipídico no plasma de crias de cagarras comparativamente aos adultos. Isto acontece possivelmente porque, tal como outros procelariformes, as cagarras acumulam grandes quantidades de gordura durante o seu desenvolvimento no ninho (Hamer e Hill 1993; Hamer *et al.* 1997). Os valores de $\delta^{13}\text{C}$ deste estudo são, de facto, mais negativos nas crias do que nos adultos. Por outro lado, a taxa de “turnover” (renovação) do carbono parece variar com o crescimento. Tieszen *et al.* (1983) sugerem que esta é menor em tecidos de animais com maior tamanho corporal, uma vez que esta taxa está relacionada com a actividade metabólica dos tecidos. O consumo de oxigénio (ou seja, a actividade metabólica) decresce com o aumento do tamanho corporal. Diferentes classes etárias parecem ainda diferir na eficiência com que utilizam o azoto. Vários autores (Hodum e Hobson, 2000; Forero *et al.* 2002 e 2005) reportaram que o crescimento afecta a assinatura deste isótopo. Sears *et al.* (2009) demonstraram em testes de cativeiro com a espécie *Cerorhinca monocerata* que à medida que o animal vai crescendo, a assinatura do azoto vai aumentando.

Apesar da influência que estes e outros factores metabólicos e fisiológicos possam ter, ao comparar a mesma subespécie e os mesmos grupos etários em colónias diferentes, espera-se que estes factores tenham tido relativamente pouca importância no presente estudo. Algumas evidências sugerem isso. O efeito do stress alimentar não se terá verificado, uma vez que, se assim fosse, as crias da Selvagem deveriam exibir assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ mais elevadas do que as da Berlenga, visto que a sua condição corporal provou ser mais pobre, indicando que estas são alimentadas de forma mais irregular, passando assim por períodos mais alargados de jejum. Seria também de esperar que as assinaturas de $\delta^{15}\text{N}$ nas crias fossem menores, visto que o seu catabolismo é maior do que em adultos, assim como as concentrações de ureia e ácido úrico (Forero *et al.* 2002). No entanto, na Selvagem passou-se exactamente o contrário, ou seja, as assinaturas maiores nas crias sugerem que estes efeitos também não se verificaram. Estas evidências atestam a validade das nossas comparações.

Neste trabalho não ficou comprovada a existência de segregação entre machos e fêmeas ao nível da composição da dieta. A variação significativa entre os sexos da frequência de ocorrência das presas generalistas no ano de 2010 não é suficiente para afirmar que a composição da dieta de machos e fêmeas difere, até porque a frequência numérica destas presas não revelou diferenças significativas. Relativamente às assinaturas isotópicas, um maior enriquecimento de ^{13}C e ^{15}N nos machos da Berlenga indica uma alimentação menos pelágica do que a das fêmeas e composta por itens

diferentes. No entanto e apesar de Guidice *et al.* (2010) terem igualmente verificado níveis mais elevados destes isótopos nos machos comparativamente às fêmeas numa colónia desta subespécie nas Canárias, as diferenças nas assinaturas obtidas no presente estudo poderão ser apenas fruto do número reduzido de amostras. Contudo, é possível que essa segregação apenas ocorra no alimento consumido e não no que se destina às crias. Estudos adicionais serão necessários para confirmar esta hipótese.

Considerações finais

Este trabalho ilustra bem que a exploração de diferentes ambientes influencia em muito a estratégia de aprovisionamento das aves e consequentemente a sua dieta. Estudos como este constituem uma importante área de investigação pois proporcionam um melhor conhecimento acerca do papel das aves nas cadeias alimentares marinhas. A identificação dos diferentes requisitos que cada classe etária e mesmo que cada sexo possui permite melhor compreender e prever de que forma a variação do alimento disponível afecta os parâmetros demográficos das populações.

S. pilchardus, *T. trachurus* e *Scomber colias* estão entre as presas mas consumidas pelas populações estudadas. Estas espécies possuem um elevado valor comercial e em Portugal encontram-se no topo dos desembarques no continente nos últimos anos (Datapescas, 2010; FAO, 20014-2011) tendo o seu volume de capturas vindo a aumentar ano após ano (Instituto Nacional de Estatística, 2011). No entanto e apesar disto, estas espécies, assim como todas as espécies encontradas na análise estomacal realizada não se encontram avaliadas na Lista Vermelha da UICN (Froese e Pauly, 2011). São muito poucos os estudos que existem acerca destas espécies. Em parte esta realidade deve-se ao facto de, em geral, os peixes e invertebrados marinhos serem altamente móveis e distribuírem-se de uma forma irregular (Montevecchi e Myers, 1996), para além de exibirem grandes flutuações inter-anuais (Furness e Camphuysen, 1997). Torna-se, assim difícil avaliar a “saúde” das suas populações e stocks (Montevecchi e Myers, 1996). O estudo de aves que consumam estas presas é também útil e importante neste sentido, ou seja, para avaliar, ainda que indirectamente, o estado das suas populações.

A avaliação da dieta de *C. diomedea borealis* e a sua monitorização a longo prazo podem fornecer informação referente à abundância, disponibilidade, variabilidade anual e acessibilidade das presas que lhes servem de alimento (Montevecchi e Myers, 1996), contribuindo assim, para medidas e políticas de gestão e conservação mais adequadas e eficazes. Este tipo de informação é, por exemplo, importante e crucial para se identificarem e definirem “marine important bird areas” (IBAs) para as aves marinhas no Atlântico Norte, que são importantes no sentido em que permitem às populações de peixe recuperar os seus stocks, contrariando o rumo actual de colapso de espécies economicamente importantes provocado pelas pescas (Paiva *et al.* 2010b). No entanto, a informação necessária para inferir as mudanças nos stocks de peixe a partir das respostas das aves marinhas requer um conhecimento detalhado da biologia das espécies de aves e de como estas respondem às mudanças da oferta de alimento (Granadeiro *et al.* 1998b).

Visto que não foram obtidos dados acerca da composição da dieta dos progenitores, seriam importantes estudos adicionais para perceber se, de facto, as presas fornecidas às crias são mais nutritivas do que as consumidas pelos adultos. Também futuras investigações no âmbito da segregação dos sexos desta subespécie poderão elucidar se realmente existe segregação alimentar entre machos e fêmeas e se esta ocorre em outras colónias, bem como os factores responsáveis por essa segregação. Seria igualmente importante verificar, perante os resultados isotópicos obtidos na Berlenga, se, efectivamente, as diferenças obtidas entre crias e adultos se devem a factores ecológicos ou simplesmente a diferenças fisiológicas. Em qualquer estudo de alimentação que utilize a técnica dos isótopos estáveis é fundamental conhecer o nível de variabilidade inerente à espécie e aos indivíduos e inerente ao fraccionamento do tecido utilizado. Em última instância, sem a composição isotópica das presas consumidas é difícil determinar se a variação das assinaturas resulta de uma especialização individual (ou de determinado grupo na população) ou se é fruto da variação existente nessas presas (Matthews e Mazumber, 2004). No entanto, este tipo de informação é escasso na bibliografia actual (Barnes *et al.* 2008). Como tal, é crucial que se conduzam investigações que permitam quantificar essa variabilidade.

Referências

- Adams, T.S. e Sterner, R.W., 2000. The effect of dietary nitrogen content on trophic level ^{15}N enrichment. *Limnology and Oceanography*, 45: 601–607.
- Ainley, D., Ballard, G., Barton, K., Karl, B., Rau, G., Ribic, C., Wilson, P., 2003. Spatial and temporal variation of the Adélie penguins. *The Condor*, 105: 95–106.
- Araújo, M., Bolnick, D., Machado, G., Giaretta, A., Reis, S., 2007. Using $\delta^{13}\text{C}$ stable isotopes to quantify individual level diet variation. *Oecologia*, 152: 643–654.
- Arístegui, J., Álvarez-Salgado, X., Barton, E., Figueiras, F., Hernández-León, S., Roy, C., Santos, A., 2006. Oceanography and fisheries of the Canary Current/Iberian region of the eastern North Atlantic. *The Sea*: 14: 877–931.
- Baduini, C.L. e Hyrenbach, K.D., 2003. Biogeography of Procellariiform foraging strategies: does ocean productivity influence provisioning? *Marine Ornithology*, 31: 101–112.
- Baird, P.H., 1991. Optimal foraging and intraspecific competition in the tufted puffin. *The Condor*, 93: 503–515.
- Barnes, C., Jennings, S., Polunin, N., Lancaster, J., 2008. The importance of quantifying inherent variability when interpreting stable isotope field data. *Oecologia*, 155: 227–235.
- Barrett, R.T., Camphuysen, C.J., Anker-Nilssen, T., Chardine, J.W., Furness, R.W., Garthe, S., Huppopp, O., Leopold, M.F., Montevecchi, W.A., Veit, R.R., 2007. Diet studies of seabirds: a review and recommendations. *Journal of Marine Science*, 64: 1675–1691.
- Bearhop, S., Teece, M.A., Waldron, S., Furness, R.W., 2000. Influence of lipid and uric acid on $\delta^{13}\text{C}$ and $\delta^{15}\text{N}$ values of avian blood: implications for trophic studies. *The Auk*, 117(2): 504–507.
- Bearhop, S., Waldron, S., Votier, S.C., Furness, R.W., 2002. Factors that influence assimilation rates and fractionation of nitrogen and carbon stable isotopes in avian blood and feathers. *Physiological and Biochemical Zoology*, 75 (5): 451–458.
- Bearhop, S., Phillips, R., McGill, R., Cherel, Y., Dawson, D., Croxall, J., 2006. Stable isotopes indicate sex-specific and long-term individual foraging specialisation in diving seabirds. *Marine Ecology Progress Series*, 311: 157–164.
- Bodin, N., Loc'h, F., Hily, C., 2007. Effect of lipid removal on carbon and nitrogen stable isotope ratios in crustacean tissues. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 341: 168–175.

- Bugoni, L., McGill, R., Furness, R., 2008. Effects of preservation methods on stable isotope signatures in bird tissues. *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, 22: 2457–2462.
- Bond, A., McClelland, G., Jones, I., Lavers, J., Kyser, K., 2010. Stable isotopes confirm community patterns in foraging among hawaiian procellariiformes. *Waterbirds*, 33: 50–58.
- Camphuysen, C. e Meer, J., 2001. Pelagic distribution, moult and (sub-) specific status of Cory's Shearwaters *Calonectris* [D.] *Diomedea/Borealis* wintering off Southern Africa. *Marine Ornithology*, 29: 89–96.
- Carlson, A. e Moreno, J., 1985. Central place foraging in wheatears (*Oenanthe oenanthe* L.): foraging itineraries when feeding nestlings. *Behavioral Ecology and Sociobiology*, 16:307–316.
- Catard, A., Weimerskirch, H., Cherel, Y., 2000. Exploitation of distant Antarctic waters and close shelf-break waters by white-chinned petrels rearing chicks. *Marine Ecology Progress Series*, 194: 249–261.
- Catry P., Matias, R., Vicente, L., Granadeiro, J.P., 2009. Brood-guarding behaviour in Cory's Shearwaters *Calonectris diomedea*. *Journal of Ornithology*, 150: 103–108.
- Chaurand, T. e Weimerskirch, H., 1994. The regular alternation of short and long foraging trips in the blue petrel *Halobaena caerulea*: a previously undescribed strategy of food provisioning in a pelagic seabird. *Journal of Animal Ecology*, 63 (2): 275–282.
- Clarke, J., Manly, B., Kerry, K., Gardner, H., Franchi, E., Corsolini, S., Focardi, S., 1998. Sex differences in Adélie penguin foraging strategies. *Polar Biology*, 20: 248–258.
- Cherel, Y., Hobson, K., Hassani, S., 2005a. Isotopic Discrimination between food and blood and feathers of captive penguins: implications for dietary studies in the wild. *Physiological and Biochemical Zoology*, 78 (1):106–115.
- Cherel, Y., Hobson, A., Weimerskirch, H., 2005b. Using stable isotopes to study resource acquisition and allocation in procellariiform seabirds. *Oecologia*, 145: 533–540.
- Cherel, Y. e Hobson, K., 2007. Geographical variation in carbon stable isotope signatures of marine predators: a tool to investigate their foraging areas in the Southern Ocean. *Marine Ecology Progress Series*, 329: 281–287.
- Cherel, Y., Hobson, K., Vanpe, C., 2007. Stable isotopes document seasonal changes in trophic niches and winter foraging individual specialization in diving predators from the Southern Ocean. *Journal of Animal Ecology*, 76: 826–836.

- Cherel, Y., 2008. Isotopic niches of emperor and Adélie penguins in Adélie Land, Antarctica. *Marine Biology*, 154: 813-82.
- Cook, T., Cherel, Y., Bost, A., Tremblay, Y., 2007. Chick-rearing Crozet shags (*Phalacrocorax melanogenis*) display sex-specific foraging behaviour. *Antarctic Science*, 19 (1): 55–63.
- Congdon, B.C., Krockenberger, A.K., Smithers, B.V., 2005. Dual-foraging and coordinated provisioning in a tropical Procellariiform, the wedge-tailed shearwater. *Marine Ecology Progress Series*, 301: 293–301.
- Dalerum, F. e Angerbjorn, A., 2005. Resolving temporal variation in vertebrate diets using naturally occurring stable isotopes. *Oecologia*, 144: 647-658.
- Danhardt, A., Freseman, T., Becker, P., 2010. To eat or to feed? Prey utilization of Common Terns *Sterna hirundo* in the Wadden Sea. *Journal of Ornithology*, 152 (2): 347-357.
- Datapescas, 2010. Acedido em 30 de Maio de 2010 no website http://www.dgpa.min-agricultura.pt/xportal/xmain?xpid=dgpa&xpgid=detPublicacao&detPublicacao_qry=bo ui=196143.
- Davenport, R., Neuer, S., Helmke, P., Perez- Marrero, J., Linas, O., 2002. Primary productivity in the northern Canary Islands region as inferred from SeaWiFS imagery. *Deep-Sea Research II*, 49: 3481–3496.
- Davoren, G.K. e Burger, A.E., 1999. Differences in prey selection and behaviour during self-feeding and chick provisioning in rhinoceros auklets. *Animal Behaviour*, 58: 853–863.
- Davoren, G.K. e Montevecchi, W.A., 2003. Consequences of foraging trip duration on provisioning behaviour and fledging condition of common murrelets *Uria aalge*. *Journal of Avian Biology*, 34: 44-53.
- DeNiro, M.J. e Epstein, S., 1978. Influence of diet on the distribution of carbon isotopes in animals. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 42: 495-506.
- Duffy, D. e Jackson, S., 1986. Diet studies of seabirds: a review of methods. *Colonial Waterbirds*, 9:1–17.
- FAO, 2004-2011. Fishery and Aquaculture Country profiles. Portugal. Em: *FAO Fisheries and Aquaculture Department*. Rome. Updated 5 August 2004.
- France, R., 1995. Carbon-13 enrichment in benthic compared to planktonic algae: foodweb implications. *Marine Progress Series*, 124: 307-312.
- Froese, R. e Pauly, D., Editors, 2011. FishBase. World Wide Web electronic publication. Acedido em Junho no website www.fishbase.org.
- Forero, M.G., Hobson, K.A., Bortolotti, G.R., Donázar, J.A., Bertellotti, M., and Blanco, G., 2002. Food resource utilisation by the Magellanic penguin evaluated through stable-

- isotope analysis: segregation by sex and age and influence on offspring quality. *Marine Ecology Progress Series*, 234: 289–299.
- Forero, M., González-Solís, J., Hobson, K., Donazar, J., Bertellotti, M., Blanco, G., Bortolotti, G., 2005. Stable isotopes reveal trophic segregation by sex and age in the southern giant petrel in two different food webs. *Marine Ecology Progress Series*, 296: 107-113.
- Furness, R. e Camphuysen, C., 1997. Seabirds as monitors of the marine environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54: 726–737.
- Furness, R., Hilton, G., Monteiro, L., 2000. Influences of coastal habitat characteristics on the distribution of Cory's Shearwaters *Calonectris diomedea* in the Azores archipelago. *Bird Study*, 47: 257–265.
- Granadeiro, J.P., 1991. The breeding biology of Cory's shearwater *Calonectris diomedea borealis* on Berlenga island, Portugal. *Seabird*, 13, 30–39.
- Granadeiro, J.P., 1993. Variation in measurements of Cory's shearwater between populations and sexing by discriminant analysis. *Ringing e Migration*, 14: 103-112.
- Granadeiro, J.P., Nunes, M., Silva, M.C., Furness, R.W., 1998a. Flexible foraging strategy of Cory's shearwater, *Calonectris diomedea*, during the chick-rearing period. *Animal Behaviour*, 56: 1169–1176.
- Granadeiro, J.P., Monteiro, L.R., Furness, R.W., 1998b. Diet and feeding ecology of Cory's shearwater *Calonectris diomedea* in the Azores, north-east Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 166: 267-276.
- Granadeiro, J.P., Burns, M.D., Furness, R.W., 1998c. Patterns of activity and burrow attendance in Cory's shearwater *Calonectris diomedea borealis* as revealed by a novel logging technique. *Ibis*, 140: 458-466.
- Granadeiro, J.P., Burns, M.D., Furness, R.W., 1999. Food provisioning to nestling shearwaters: why parental behaviour should be monitored? *Animal Behaviour*, 57: 663–671.
- Granadeiro, J.P. e Silva, M.A., 2000. The use of otoliths and vertebrae in the identification and size-estimation of fish in predator-prey studies. *Cybiu*, 24 (4): 383-393.
- Granadeiro, J.P., Bolton, M., Silva, M.C., Nunes, M., Furness, R.W., 2000. Responses of breeding Cory's shearwater *Calonectris diomedea* to experimental manipulation of chick condition. *Behavioural Ecology*, 11: 274-281.
- Granadeiro, J.P., Dias, M.P., Rebelo, R., Santos, C.D., Catry, P., 2006. Numbers and Population Trends of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* at Selvagem Grande, Northeast Atlantic. *Waterbirds*, 29 (1): 56-60.

- Golet, H.G., Katherine, J.K., Roby, D.D., Irons, D.B., 2000. Adult prey choice affects chick growth and reproductive success in pigeon guillemots. *The Auk*, 117 (1): 82–91.
- González-Solís, J., Oro, D., Pedrocchi, V., Jover, L., Ruiz, X., 1999. Bias associated with diet samples in Audouin's gulls. *Condor*, 99:773–779.
- González-Solís, J., Croxall, J., Wood, A., 2000. Sexual dimorphism and sexual segregation in foraging strategies of northern giant petrels, *Macronectes halli*, during incubation. *Oikos*, 90: 390-398.
- Guidici, A., Navarro, J., Juste, C., González-Solís, J., 2010. Physiological ecology of breeders and sabbaticals in a pelagic seabird. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 389: 13–17.
- Hamer, K.C. e Read, H., 1987. Patterns of return to land in a colony of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea* on Selvagem Grande. *Seabird*, 10: 3-11.
- Hamer, K.,C. e Hill, J. K., 1993. Variation and regulation of meal size and feeding frequency in Cory's Shearwater *Calonectris diomedea*. *Journal of Animal Ecology*, 62: 441-450.
- Hamer, K.C., Hill, J.K., Scott, I., 1999. Chick provisioning and parental attendance in Cory's Shearwaters: implications for nestling obesity. *Journal of Avian Biology*, 30: 309-315.
- Hamer, K.C., Nicholson, L., Hill, J., Wooller, R., Bradley, J., 1997. Nestling obesity in procellariiform seabirds: temporal and stochastic variation in provisioning and growth of short-tailed shearwaters *Puffinus tenuirostris*. *Oecologia*, 112: 4-11.
- Hamer, K.C., Hill, J.K., Scott, I., 1999. Chick provisioning and parental attendance in Cory's Shearwaters: implications for nestling obesity. *Journal of Avian Biology*, 30: 309-315.
- Haney, J. e McGillivray, P., 1985. Aggregations of Cory's Shearwaters (*Calonectris diomedea*) at gulf stream fronts. *Wilson Bulletin*, 97 (2): 191-200.
- Hartog, J. e Clarke, M., 1996. A study of stomach contents of Cory's Shearwater, *Calonectris diomedea borealis* (Aves: Procellariidae), from the Macaronesian Islands. *Zoologische Mededelingen Leiden*, 70: 117-131.
- Hilton, G., Houston, D., Furness, R., 1998. Which components of diet quality affect retention time of digesta in seabirds? *Functional Ecology*, 12: 929–939.
- Hobson, K.A. e Clark, R.G., 1992a. Assessing avian diets using stable isotopes I: turnover of ^{13}C in tissues. *The Condor*, 94: 181-188.
- Hobson, K., 1993. Trophic relationships among high Arctic seabirds: insights from tissue-dependent stable-isotope models. *Marine Progress Series*, 95: 7-18.
- Hobson, K., Piatt, J., Pitocchelli, J., 1994. Using stable isotopes to determine seabird trophic relationships. *Journal of Animal Ecology*, 63- 786-798.

- Hodum, P.J. e Hobson, K.A., 2000. Trophic relationships among Antarctic fulmarine petrels: insights into dietary overlap and chick provisioning strategies inferred from stable-isotope ($\delta^{15}\text{N}$ and $\delta^{13}\text{C}$) analyses. *Marine Ecology Progress Series*, 198: 273-281.
- ICNB, 2007. Plano de ordenamento da reserve natural das Berlengas. Versão para discussão pública.
- Inger, R. e Bearhop, S., 2008. Applications of stable isotope analyses to avian ecology. *Ibis*, 150: 447–461.
- Instituto Nacional de Estatística, 2011. Boletim mensal da Agricultura e Pescas. Acedido em 3 de Junho de 2011 no website www.ine.pt.
- Jaquemet, S., Potier, M., Cherel, Y., Kojadinovic, J., Bustamante, P., Richard, P., Catry, P., Ramos, J.A., Corre, M.L., 2008. Comparative foraging ecology and ecological niche of a superabundant tropical seabird: the sooty tern *Sterna fuscata* in the southwest Indian Ocean. *Marine Biology*, 155: 505–520.
- Kacelnik, A. e Cuthill, I., 1990. Central place foraging in starlings (*Sturnus vulgaris*). II. Food allocation to chicks. *Journal of Animal Ecology*, 59: 655-674.
- Kato, A., Nishiumi, I., Naito, Y., 1996. Sexual differences in the diet of king cormorants at Macquarie Island. *Polar Biology*, 16: 75-77.
- Kato, A., Watanuki, Y., Shaughnessy, P., Maho, Y., Naito, Y., 1999. Intersexual differences in the diving behaviour of foraging subantarctic cormorant (*Phalacrocorax albiventer*) and Japanese cormorant (*P. filamentosus*). *Life Sciences*, 322: 557–562.
- Kato A., Watanuki, Y., Nishumi, I., Kuroki, M., Shaughnessy, P., Naito, Y., 2000. Variation in foraging and parental behaviour of King cormorants. *The Auk*, 117 (3): 718-730.
- Kelly, J., 2000. Stable isotopes of carbon and nitrogen in the study of avian and mammalian trophic ecology. *Canadian Journal of Zoology*, 78: 1–27.
- Lecoq, M., Catry, P., Granadeiro, J.P., 2010. Population trends of Cory's Shearwaters *Calonectris diomedea borealis* breeding at Berlengas Islands, Portugal. *Airo*, 20: 36-41.
- Leopold, M.F., 1993. Seabirds in the shelf edge waters bordering the Banc d'Arguin, Mauritania, in May. *Hydrobiologia*, 258: 197-210.
- Lewis, S., Benvenuti, S., Dall'Antonia, L., Griffiths, R., Money L., Sherratt, T., Wanless, S., Hamer, C., 2002. Sex-specific foraging behaviour in a monomorphic seabird. *Proceedings of the Royal Society B*, 269: 1687–1693.
- Lewis, S., Schreiber, E., Daunt, F., Schenk, G., Orr, K., Adams, A., Wanless, S., Hamer, K., 2005. Sex-specific foraging behaviour in tropical boobies: does size matter? *Ibis*, 147: 408–414.

- Magalhães, M.C., 2007. Foraging ecology of Cory's shearwaters in the Azores Islands. PhD thesis, University of Leeds.
- Magalhães, M.C., Santos, R.S., Hamer, K.C., 2008. Dual-foraging of Cory's shearwaters in the Azores: feeding locations, behaviour at sea and implications for food provisioning of chicks. *Marine Ecology Progress Series*, 359: 283–293.
- Matthews, B. e Mazumder, A., 2004. A critical evaluation of intrapopulation variation of $\delta^{13}\text{C}$ and isotopic evidence of individual specialization. *Oecologia*, 140: 361–371.
- McLeay, L., Page, B., Goldsworthy, S., Ward, T., Paton, D., 2009. Size matters: variation in the diet of chick and adult crested terns. *Marine Biology*, 156: 1765–1780.
- Monaghan, P., Uttley, J.D., Burns, M.D., Thaine, C., Blackwood, J., 1989. The relationship between food supply, reproductive effort and breeding success in Arctic Terns *Sterna Paradisaea*. *Journal of Animal Ecology*, 58: 261–274.
- Montevecchi, W.A. e Myers, R.A., 1996. Dietary changes of seabirds indicate shifts in pelagic food webs. *Sarsia*, 80: 313–322.
- Mougin, J., e Jouanin, C., 1997. Prospection alimentaire du puffin cendré *Calonectris diomedea borealis* de Selvagem Grande (30°09'N, 15°52'W) pendant l'incubation, par télémétrie satellitaire. *Life Sciences*, 320: 825–831.
- Navarro, J. e González-Solís, J., 2007. Experimental increase of flying costs in a pelagic seabird: effects on foraging strategies, nutritional state and chick condition. *Oecologia*, 151: 150–160.
- Navarro, J., González-Solís, J., Viscor, G., 2007. Nutritional and feeding ecology in Cory's shearwater *Calonectris diomedea* during breeding. *Marine Progress Series*, 351: 261–271.
- Navarro, J., Kaliontzopoulou, A., González-Solís, J., 2009. Sexual dimorphism in bill morphology and feeding ecology in Cory's shearwater (*Calonectris diomedea*). *Zoology*, 112: 128–138.
- Navarro, J. e González-Solís, J., 2009. Environmental determinants of foraging strategies in Cory's shearwaters *Calonectris diomedea*. *Marine Ecology Progress Series*, 378: 259–267.
- Neves, V., Bolton, M., Monteiro, L., 2006. Validation of the water offloading technique for diet assessment: an experimental study with Cory's shearwaters (*Calonectris diomedea*). *Journal of Ornithology*, 147: 474–478.
- Nogales, M., Zonfrillo, B., Monaghan, P., 1995. Diets of adult and chick Herring Gulls *Larus argentatus argentatus* on Ailsa Craig, south-west Scotland. *Seabird*, 17: 56–63.

- Paiva, V.H., Ramos, J.A., Catry, T., Pedro, P., Medeiros, R., Palma, J., 2006. Influence of environmental factors and energetic value of food on Little Tern *Sterna albifrons* chick growth and food delivery. *Bird Study*, 53, 1–11.
- Paiva, V.H., Geraldes, P., Ramirez, I., Meirinho, A., Garthe, S., Ramos, J. A., 2010a. Foraging plasticity in a pelagic seabird species along a marine productivity gradient. *Marine Ecology Progress Series*, 398: 259–274.
- Paiva, V.H., Geraldes, P., Ramírez, I., Meirinho, A., Garthe, S., Ramos, J.A., 2010b. Oceanographic characteristics of areas used by Cory's shearwaters during short and long foraging trips in the North Atlantic. *Marine Biology*, 157: 1385-1399.
- Paiva, V.H., Guilford, T., Meade, J., Geraldes, P., Ramos, J.A., Garthe, S., 2010c. Flight dynamics of Cory's shearwater foraging in a coastal environment. *Zoology*, 113: 47–56.
- Paiva, V.H., Geraldes, P., Ramírez, I., Garthe, S., Ramos, J.A., 2010d. How area restricted search of a pelagic seabird changes while performing a dual foraging strategy. *Oikos*, 000: 001–012.
- Paiva, V.H., Xavier, J., Geraldes, P., Ramírez, I., Garthe, S., Ramos, J.A., 2010e. Foraging ecology of Cory's shearwaters in different oceanic environments of the North Atlantic. *Marine Ecology Progress Series*, 410: 257–268.
- Paredes, R., Jones, I.A., Boness, D.J., Tremblay, Y., Renner, M., 2008. Sex- specific differences in diving behaviour of two sympatric Alcini species: thick-billed murre and razorbills. *Canadian Journal of Zoology*, 86: 610-622.
- Pearson, S., Levey, D., Greenberg, C., Rio, C., 2003. Effects of elemental composition on the incorporation of dietary nitrogen and carbon isotopic signatures in an omnivorous songbird. *Oecologia*, 135: 516–523.
- Peck, D.R. e Congdon, B.C., 2005. Colony-specific foraging behaviour and co-ordinated divergence of chick development in the wedge-tailed shearwater *Puffinus pacificus*. *Marine Ecology Progress Series*, 299: 289-296.
- Pedrocchi V., Oro, D., González-Solís, J., 1996. Differences between diet of adult and chick Audouin's Gulls *Larus audouinii* at the Chafarinas Islands, SW Mediterranean. *Ornis Fennica*, 73: 124-130.
- Peterson, B.J. e Fry B., 1987. Stable Isotopes in Ecosystem Studies. *Annual Review of Ecology, Evolution and Systematics*, 18: 293-320.
- Pinaud, D., Cherel, Y., Weimerskirch, H., 2005. Effect of environmental variability on habitat selection, diet, provisioning behaviour and chick growth in yellow-nosed albatrosses. *Marine Ecology Progress Series*, 298: 295–304.

- Podlesak, D. e McWilliams, S., 2006. Metabolic routing of dietary nutrients in birds: effects of diet quality and macronutrient composition revealed using stable isotopes. *Physiological and Biochemical Zoology*, 79 (3):534–549.
- Quillfeldt, P., McGill, R., Furness, R., 2005. Diet and foraging areas of Southern Ocean seabirds and their prey inferred from stable isotopes: review and case study of Wilson's storm-petrel. *Marine Progress Series*, 295: 295-304.
- Ramos, J.A., Solá, E., Monteiro, L.R., 1998. Prey delivered to Roseate Tern chicks in the Azores. *Journal of Field Ornithology*, 69 (3): 419-429.
- Ramos, J.A., Moniz, Z., Solá, E., Monteiro, L.R., 2003. Reproductive measures and chick provisioning of Cory's Shearwater *Calonectris diomedea borealis* in the Azores. *Bird Study*, 50: 47-54.
- Ricklefs, R.E., Day, C.H., Huntington, C.E., Williams, J.B., 1985. Variability in feeding rate and meal size of Leach's Storm-Petrel at Kent Island, New Brunswick. *Journal of Animal Ecology*, 54: 883-898.
- Sartori, D., Migliorini, R.H., Veiga, J., Moura, J., Kettelhut, I.C., Linder, C., 1995. Metabolic adaptations induced by long-term fasting in quails. *Comparative Biochemistry and Physiology*, III A (3): 487-493.
- Sears, J., Hatch, S.A., O'Brien, D.M., 2009. Disentangling effects of growth and nutritional status on seabird stable isotope ratios. *Oecologia*, 159: 41–48.
- Schaffner, F.C., 1990. Food Provisioning by white-tailed tropic birds: Effects on the developmental pattern of chicks. *Ecology*, 71 (1): 375-390.
- Shaffer, S.A., Weimerskirch, H., Costa, D.P., 2001. Functional significance of sexual dimorphism in Wandering Albatrosses, *Diomedea exulans*. *Functional Ecology*, 15: 203-210.
- Spaans, A.L., 1971. On the feeding ecology of the herring gull *Larus Argentatus* Pont. In the northern part of the Netherlands. *Ardea*, 59: 72-187.
- Spear, L., Ainley, D., Walker, W., 2007. Foraging dynamics of seabirds in the tropical Pacific Ocean. *Studies in Avian Biology*, 35: 1-99.
- Sousa, F.M., Nascimento, S., Casimiro, H., Boutov, D., 2008. Identification of upwelling areas on sea surface temperature images using fuzzy clustering. *Remote Sensing of Environment*, 112: 2817–2823.
- Sydeman, Y.J., Hobson, K.A., Pyle, P., McLaren, E.B., 1997. Trophic relationships among seabirds in Central California: combined stable isotope and conventional dietary approach. *The Condor*, 99: 327-336.

- Tierney, M., Southwell, C., Emmerson, M., Hindell, M.A., 2008. Evaluating and using stable-isotope analysis to infer diet composition and foraging ecology of Adélie penguins *Pygoscelis adeliae*. Marine Ecology Progress Series, 355: 297–307.
- Tieszen, L.L., Boutton, T.W., Tesdahl, K.G., Slade, N.A., 1983. Fractionation and turnover of stable carbon isotopes in animal tissues: Implications for $\delta^{13}\text{C}$ analysis of diet. Oecologia, 57: 32-37.
- Thibault, J., 1994. Nest-site tenacity and mate fidelity in relation to breeding success in Cory's Shearwater *Calonectris diomedea*. Bird Study, 41: 25-28.
- Velando, A. e Freire, J., 1999. Intercolony and seasonal differences in the breeding diet of European shags on the Galician coast (NW Spain). Marine Ecology Progress Series, 188: 225-236.
- Weimerskirch, H., 1998. How can a pelagic seabird provision its chick when relying on a distant food resource? Cyclic attendance at the colony, foraging decision and body condition in Sooty Shearwaters. Journal of Animal Ecology, 67: 99-109.
- Weimerskirch, H. e Lys, P., 2000. Seasonal changes in the provisioning behaviour and mass of male and female Wandering Albatrosses in relation to the growth of their chick. Polar Biology, 23: 733-744.
- Weimerskirch, H., Cherel, Y., Cuenot-Chaillet, F., Ridoux, V., 1997a. Alternative foraging strategies and resource allocation by male and female wandering albatrosses. Ecology, 78 (7): 2051-2063.
- Weimerskirch, H., Mougey, T., Hindermeyer, X., 1997b. Foraging and provisioning strategies of black-browed albatrosses in relation to the requirements of the chick: natural variation and experimental study. Behavioral Ecology, 8 (6): 635-643.
- Wilson, R.P., 1984. An improved stomach pump for penquins and other seabirds. Journal of Field Ornithology, 55: 109-112.
- .
- Wojczulanis, K., Jakubas, D., Walkusz, W., Wennerberg, L., 2006. Differences in food delivered to chicks by males and females of little auks (*Alle alle*) on South Spitsbergen. Journal of Ornithology, 147: 543–548.
- Zino, F. e Biscoito, M., 1984. Breeding seabirds in the Madeira archipelago. BirdLife Conservation Series, 1: 172-185.